

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
18. August 2005 (18.08.2005)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2005/076635 A1

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: **H04N 9/31**,
G02B 27/28

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2005/000194

(22) Internationales Anmeldedatum:
2. Februar 2005 (02.02.2005)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2004 006 148.3 4. Februar 2004 (04.02.2004) DE

(71) Anmelder und

(72) Erfinder: MAYER, Max [DE/DE]; Hutstrasse 39, 91301
Forchheim (DE). BAUSENWEIN, Bernhard, Rudolf
[DE/DE]; Eichenstr. 32, 93095 Hagelstadt (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,
CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES,
FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE,

KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD,
MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG,
PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM,
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM,
ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG,
ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU,
TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK,
EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL,
PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI,
CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Erklärung gemäß Regel 4.17:

— Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv) nur für US

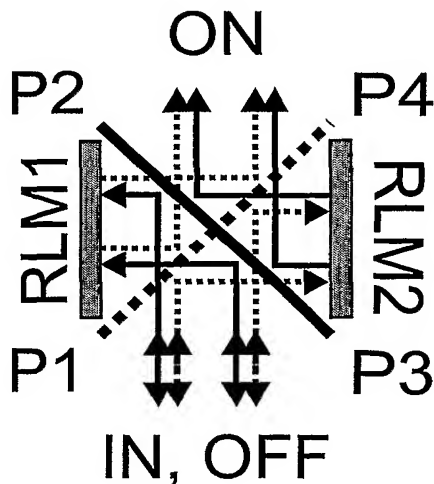
Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht
— vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden
Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen
eintreffen

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: DEVICE FOR RECIPROCAL POLARIZATION WITH COMPLEMENTARY POLARIZATION LAYERS (CROSS-POLARIZER)

(54) Bezeichnung: VORRICHTUNG ZUR REZIPROKEN POLARISATION MIT ZUEINANDER KOMPLEMENTÄREN POLARISATIONSSCHICHTEN (KREUZPOLARISATOR)



(57) Abstract: Polarization beam dividers (P1, P2, P3, P4) are coupled in pairs along optical axes such that the polarization planes thereof are perpendicular. Said complementarity P1/P2, P1/P3, P4/P2 and P4/P3 enables reciprocal coupling of a polarizing transmission to a polarizing reflection for both partial beams. During cross-polarization, two complementarily linear polarized partial beams occur, having the same high polarization quality and the same intensity, both being symmetrically folded. During cross-superpositioning, the reverse is the case each of the two partial beams which are to be superponated are combined by transmission and reflection to complementary polarizers into a common axis. Coupling of cross-polarizers results in efficient arrangements of systems which operate with complementarily polarized radiation, e.g. 2-channel image display systems with polarization-rotating reflective spatial light modulators RLM1 and RLM2.

(57) Zusammenfassung: Polarisationsstrahlenteiler (P1, P2, P3, P4) werden entlang optischer Achsen paarweise so gekoppelt, dass deren Polarisierungsebenen senkrecht zueinander stehen. Diese Komplementarität P1/P2, P1/P3, P4/P2 und P4/P3 ermöglicht die reziproke Kopplung einer polarisierenden Transmission mit einer polarisierenden Reflektion für beide Teilstrahlen. Bei der Kreuz-Polarisation entstehen so zwei komplementär

linear polarisierte Teilstrahlen gleich hoher Polarisationsgüte und gleicher Intensität, die beide symmetrisch einmal gefaltet sind. Bei der Kreuz-Superposition wird umgekehrt jeder der beiden zu superponierenden Teilstrahlen durch eine Transmission und eine Reflektion an zueinander komplementären Polarisatoren in eine gemeinsame Achse kombiniert. Die Kopplung von Kreuzpolarisatoren ermöglicht effiziente Anordnungen von Systemen, die mit komplementär polarisierter Strahlung arbeiten, z.B. 2-Kanal-Bildanzeigesystemen mit polarisationsdrehenden reflektiven räumlichen Lichtmodulatoren RLM1 und RLM2.

WO 2005/076635 A1



Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

Vorrichtung zur reziproken Polarisation mit zueinander komplementären Polarisationsschichten
(Kreuzpolarisator)

Gebiet der Erfindung:

5

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf optische Systeme im sichtbaren und benachbarten elektromagnetischen Spektrum, die einen Polarisator beinhalten. Insbesondere bezieht sich die Erfindung auf komplexe, d.h. aus mehreren Polarisationsschichten zusammengesetzte Polarisatoren. Insbesondere bezieht sich die Erfindung auf die Kopplung zueinander komplementärer Polarisationsschichten.

10

Insbesondere wird in dieser Anmeldung ein Prinzip der Kreuzpolarisation aufgedeckt und erläutert, bei dem zueinander komplementäre Polarisatorschichten reziprok gekoppelt verwendet werden.

Diskussion des Stands der Technik:

15

Ein kurzer Überblick über einfache Polarisatoren (im Gegensatz zu zusammengesetzten, mehrfachen) wird in unserer vorhergegangenen Patentanmeldung DE102004006148 gegeben, deren Inhalt Bestandteil dieser Anmeldung ist. Da in dieser Anmeldung die Bedeutung unserer Erfindung für die Strahlführung in 2-Kanal-Bildanzeigesystemen erläutert wird, stellen wir hier kurz den Stand der Technik der dafür eingesetzten Polarisationssysteme vor.

20

Für transmissive LCD (Liquid Crystal Display) wurde von Lee 1990 (DE4040081, Goldstar) eine Anordnung vorgestellt, die je einen Polarisationsstrahlenteiler (Polarizing Beam Splitter, PBS) zur Zerlegung des eingestrahlt Lichts und einen PBS zur Superposition der beiden modulierten Teillichtbündel verwendet.

25

Für reflektive, polarisationsdrehende Systeme wurde bereits 1988 von Baur et al. (US5028121) eine auf einem einzelnen PBS beruhende Architektur aufgedeckt. Dieser einzelne PBS wird sowohl für die Polarisationsteilung (als Splitter) wie auch für die Polarisationsrekombination und die Bildüberlagerung (Superposition) eingesetzt. Eine gleichartige Anordnung wurde von Gibbon et al. 2001 (US20030020809) weiter ausgebaut und auch von Svardal et al. 2001 (WO03058342) für LCoS (Liquid Crystal on Silicon) Displays (Abb.1a) verwendet. Eine im Prinzip ähnliche Anordnung, bei der aber der Split/die Rekombination mit einem PBS für jeden Farbkanal durchgeführt wird, wurde von Hattori und Oikawa bereits 1996 (US5798819) beschrieben.

30

35

Für DMD (Digital Mirror Devices) wurde von Fielding (US20010040670) ebenfalls eine Licht-Architektur mit nur einem PBS für Strahlenteilung und Superposition vorgestellt. Lösungen für die Lichtführung in 2-Kanal-Bildanzeigesystemen mit DMD, die berücksichtigen, dass gegenwärtig nur eine Bauform der stereoisomeren DMD zur Verfügung steht, wurden 2003 von Bausenwein und Mayer aufgedeckt (DE10361915). Diese enthalten einen PBS für die Strahlenteilung und einen PBS für die Superposition.

40

Alle Lichtanordnungen, die mit einem einzelnen PBS zur Superposition arbeiten (Abb.1a), tragen die im PBS enthaltenen Nachteile der asymmetrischen Strahlteilung in Bezug auf unterschiedliche Polarisationsgüte, unterschiedliche Helligkeit der beiden polarisierten Teilstrahlen sowie unterschiedliche Zahl der Faltungen (nur der S-Strahl wird in einer Faltung abgelenkt). Einfache Polarisationsstrahlenteiler zeichnen sich dabei durch verschieden hohe Polarisationsgüte der beiden Teilstrahlen aus. Während der transmittierende P-Strahl (durchgezogene Linie) nur mit einem Promille verunreinigt ist (S-Polarisation wird am PBS praktisch nicht transmittiert), enthält der reflektierte S-Strahl (gepunktete Linie) ca. fünf Prozent P-Polarisationsverunreinigungen (P-Polarisation reflektiert am PBS zu 5%). Mangelnde Polarisationsgüte wird vor allem bei der Verwendung von LCoS problematisch (LC-Displays, die helle Bildpunkte mit einer gedrehten Polarisation reflektieren, dunkle Bildpunkte dagegen mit unveränderter Polarisation reflektieren) (Abb.1a). Bei der Einstrahlung in RLM1 sind im reflektierten S-Strahl ca. 5% P-Polarisationsverunreinigungen enthalten (nicht gezeigt). Diese werden an dunklen Bildpunkten ohne Änderung ihrer Polarisationsrichtung reflektiert und gelangen so in den ON-Strahl, weil sie die gleiche Polarisierung tragen wie das modulierte Licht heller Bildpunkte von RLM1. Bei Einstrahlung in den RLM2 sind im transmittierten P-Strahl wesentlich geringere Verunreinigungen enthalten. Das an dunklen Bildpunkten ohne Änderung der Polarisationsrichtung von RLM2 reflektierte P-Licht wird aber ebenfalls zu 5% von P1 in den ON-Strahl reflektiert. So sind beide Kanäle von der unvollständigen Polarisationsfunktion des PBS gleich belastet (Kanal 1 bei der Einstrahlung und Kanal 2 bei der Ausstrahlung) was zu einem geringen Bildkontrast führt (ca. 20:1 für beide Kanäle).

Deshalb wurden für 2-Kanal-Bildanzeigen mit LCoS Displays mehrere Anordnungen aus zusammengesetzten, komplexen Polarisatoren (siehe Abb.1b) vorgestellt (US5921650 Doany and Rosenbluth IBM, US6280034 Brennesholtz Philips, WO03007074 Roth, Shmuel Genua Color Technologies, EP1337117 Thomson SA). Der Aufbau dieser sich topologisch sehr ähnlichen Lösungen ist in Abb.1b gezeigt. Es handelt sich in allen Fällen um eine Anordnung von 4 PBS, deren Ausrichtung so erfolgt, dass die Dünnschichten ein zusammengesetztes X ergeben. Auch die Strahlführung ist in allen Fällen identisch: Ein Eingangs-PBS polarisiert den Eingangstrahl (IN) in einen abgelenkten S- und einen durchgehenden P-Strahl. Der S-polarisierte, an P1 gefaltete Teilstrahl wird auch von dem ebenfalls im Eingangsquadranten des X liegenden P3 in Richtung der Einstrahlung auf einen ersten LCoS (RLM1) reflektiert. Der P-polarisierte, P1 transmittierende Teilstrahl transmittiert auch den dahinterliegenden P2, und trifft auf den zweiten LCoS (RLM2) im der Einstrahlung gegenüberliegenden Quadranten des X. Bei dunklen, Lichtpunkten (OFF) werden die Lichtstrahlen auf dem gleichen Weg zurück in Richtung der Einstrahlung reflektiert. Helle Lichtpunkte (ON) werden dagegen durch eine Polarisationsdrehung moduliert. Der S-Strahl, der vor der Modulation zweimal abgelenkt wurde, wird nun als P-Strahl gerade die Anordnung durch zwei Transmissionen an P3 und P4 verlassen. Der vorher zweifach transmittierte P-Strahl wird so zum zweimal reflektierten S-Strahl (an P2 und P4), der das X im dem Eingangsquadranten gegenüberliegenden Ausgangsquadranten verlässt. Dieser komplexe Polarisator ist eine erhebliche Verbesserung gegenüber 1 PBS-Lösungen bei LCoS Anzeigen. Der Vorteil im Vergleich mit einfachen PBS liegt in der Kombination von mehreren Polarisationsprozessen, wobei die enthaltenen „Polarisationsverunreinigungen“ multiplikativ entfernt werden. Allerdings sind auch in der X-Anordnung aus 4 PBS zusätzliche absorbierende Cleanup-Polarisatoren sinnvoll, damit upstream und downstream

zu den RLM die im S-Kanal enthaltenen P-Anteile entfernt werden können. Dies ist ein Nachteil der Kopplung von gleichartigen Polarisationsprozessen.

85 Im Gegensatz zu der oben beschriebenen Anordnung haben wir in unserer Anmeldung
DE102004006148 die Kreuzpolarisation entwickelt, die symmetrisch, komplementär reziprok
Polarisationprozesse koppelt. Drei Polarisatorschichten werden dabei so gekoppelt, dass beide
Teilstrahlen im Polarisator sowohl einen transmissiven als auch einen reflektiven Vorgang erfahren -
beide weisen danach die gleiche Polarisationsgüte (polarization contrast), und die gleiche Lichtstärke auf,
90 und beide sind je einmal gefaltet. Der Kreuzpolarisator ermöglicht symmetrische Strahlenteilung bzw.
Strahlkombination. Zusammengesetzte Kreuzpolarisatoren ermöglichen effiziente Anordnungen von
optischen Systemen, die mit komplementär polarisiertem Licht arbeiten (z.B. 2-Kanal-Bildanzeigesysteme
mit räumlichen Lichtmodulatoren).

95 Überblick über die Erfindung:

1. Funktionsweise der verwendeten Polarisatoren und Definition der kennzeichnenden Größen

100 Polarisationschichten vom Typ Polarisationsstrahlenteiler teilen einen unpolarisierten Lichtstrahl in zwei
linear polarisierte Lichtstrahlen (Abb.2). Ein in der Polarisationschicht P1 liegender Schichtvektor V1
definiert zusammen mit den optischen Einfall- und Reflektionsachsen A1 und A2 der
Polarisationschicht, welche Polarisationsrichtungen der auf die Polarisationschicht einfallenden
elektromagnetischen Strahlung reflektiert werden (polarisierende Reflektion) beziehungsweise die
Polarisationschicht transmittieren (polarisierende Transmission). Der Schichtvektor bildet zusammen mit
105 der Einfallssachse A1 eine Ebene E1, zu der die Polarisationssebene E2 (plane of polarization) des
transmittierenden Strahls senkrecht steht und zusammen mit der Reflektionsachse A2 die
Polarisationssebene E3 des reflektierten Strahls.

110 Diese Beschreibung durch einen Schichtvektor hat sowohl für Dünnschichtpolarisationsstrahlenteiler
(Abb.2a z.B. MacNeille-Typ) als auch für kartesische Polarisationsstrahlenteiler (Abb.2b, z.B. Proflux
Wire Grid von Moxtek) Gültigkeit.

115 Bei Dünnschichtpolarisatoren, die nach dem Brewster-Prinzip arbeiten, bestimmt die Einstrahlebene
(engl. „plane of incidence“, POI), welche Polarisationssebene (engl. „plane of polarization“, POP) das
transmittierte Licht und welche das reflektierte Licht hauptsächlich besitzt: Das transmittierte Licht („P-
Polarisation“) hat eine POP (E2 in Abb.2a) parallel zur POI, die POP (E3 in Abb.2a) des reflektierten
Lichts („S-Polarisation“) steht senkrecht zur POI. Man kann daher für Dünnschichtpolarisatoren einen
Schichtvektor V (hier V1 in Abb.2a) angeben, der immer senkrecht auf der POI steht (Kopplung von POP
und POI).

120 Kartesische Polarisatoren ermöglichen eine Entkopplung von POI und POP (Abb.2b). Der Schichtvektor
V eines kartesischen Polarisators ist durch Eigenschaften der Polarisationschicht selbst bestimmt (z.B.

bei Wire Grid Polarisatoren durch die Drahtlinienausrichtung in der Polarisierungsschicht; hier V1 von P1 in Abb.2b). Der Schichtvektor, und damit die POPs können unabhängig von der POI gewählt werden.

125

Einfache Polarisationsstrahlenteiler sowohl vom Typ Dünnschichtpolarisator als auch einfache kartesische Polarisationsstrahlenteiler zeichnen sich dabei durch verschieden hohe Polarisationsgüte der beiden Teilstrahlen aus. Während der transmittierende Strahl mit weniger als einem Promille verunreinigt ist, enthält der reflektierte Strahl ca. fünf Prozent Polarisationsverunreinigungen.

130

2. Der Kreuzpolarisator: reziproke Polarisation an zueinander komplementären Polarisierungsschichten

Ein zentraler Aspekt unserer Erfindung ist die mehrfache Kopplung eines polarisierenden Transmissionsvorgangs an einem PBS mit einem polarisierenden Reflektionsvorgang an einem zu diesem Polarisator komplementären PBS.

135

Dazu werden strukturell drei Polarisierungsschichten P1, P2 und P3 mit den Schichtvektoren V1, V2 und V3 entlang zweier optischer Achsen A1 und A2 so angeordnet (Abb.3), dass P1 und P2 sowie P1 und P3 zueinander komplementäre Polarisierungsschichten sind. Dies wird dadurch erreicht, dass einerseits die Ebene E1, die gebildet ist aus A1 und V1, senkrecht steht zur Ebene E2, die gebildet ist aus A1 und V2 und außerdem die Ebene E3, die gebildet ist aus A2 und V1, senkrecht steht zur Ebene E4, die gebildet ist aus A2 und V3.

140

Dies hat funktionell zur Folge, dass ein polarisierender Transmissionsvorgang an P1 entlang A1 gekoppelt werden kann an einen polarisierenden Reflektionsvorgang an P2 (Abb.4a) und ein polarisierender Transmissionsvorgang an P2 entlang A1 gekoppelt werden kann an einen polarisierenden Reflektionsvorgang an P1 (Abb.4b). Außerdem kann ein polarisierender Transmissionsvorgang an P1 entlang A2 an einen polarisierenden Reflektionsvorgang an P3 gekoppelt werden und ein polarisierender Transmissionsvorgang an P3 entlang A2 an einen polarisierenden Reflektionsvorgang an P1 (entsprechend Abb.4, nicht gezeigt).

145

150

Wählt man, wie in unserer Erfindung, die Ausrichtung der beiden optischen Achsen A1 und A2 derart, dass es die korrespondierenden Transmissions- und Reflektionsachsen eines an P1 möglichen Polarisationsvorgangs sind, indem die beiden Winkel gleich groß gewählt werden, die der Normalenvektor N1 von P1 mit den beiden Achsvektoren von A1 und A2 bildet, ermöglicht diese Anordnung der drei Polarisatoren unser Prinzip der reziproken Polarisation (Abb.3). Unsere Erfindung der reziproken Polarisation an zueinander komplementären Polarisierungsschichten koppelt vier Polarisationsprozesse: zwei zueinander komplementäre Polarisationsprozesse im ersten Strahlengang (ein Transmission an P1 ist gekoppelt an eine Reflektion an P2) mit zwei zueinander komplementären Polarisationsprozessen im zweiten Strahlengang (eine Reflektion an P1 ist gekoppelt an eine Transmission an P3). Wir nennen diese Kopplung der beiden Kopplungen reziproke Polarisation, weil Transmission und Reflektion in den beiden Strahlengängen in umgekehrter Reihenfolge und an zueinander komplementären Polarisierungsschichten stattfinden.

155

160

165 Es sei bereits hier darauf hingewiesen, dass der beschriebene dreiarmlige Kreuzpolarisator (Abb.3) durch eine vierte Polarisierungsschicht zu einer kreuzförmigen Anordnung ausgebaut werden kann (gestrichelte Linien in Abb.3).

3. Der dreiarmlige Kreuzpolarisator (erste und zweite Verkörperung der Erfindung)

170

Abb.5a zeigt eine erste Verkörperung des dreiarmligen Kreuzpolarisators mit drei WGP, in dem die Ausrichtung der Schichtvektoren nicht speziell auf die Einstrahlebene POI (plane of incidence) abgestimmt ist. Ein auf P1 einfallender unpolarisierter Lichtstrahl wird in zwei linear polarisierte Teilstrahlen zerlegt, die beide einen zusätzlichen komplementären Polarisationsvorgang durchlaufen. Der
175 P1 transmittierende Strahl erfährt an P2 eine polarisierende Reflektion, und der an P1 reflektierte Strahl erfährt an P3 eine polarisierende Transmission. Wie bereits erwähnt, ermöglichen kartesische Polarisierungsschichten eine Entkopplung der Polarisierungsebenen von der Einstrahlebene POI. Dies hat zur Folge, dass die beiden Teilstrahlen, die an P1 durch Transmission und Reflektion entstehen, zunächst nicht orthogonal zueinander schwingen (falls V1 nicht parallel oder senkrecht zur POI ist). Als
180 Bezugssystem für die Definition der Schwingungsrichtung gilt das xyz-Bezugssystem aus Ausbreitungsrichtung z, und den beiden senkrecht und parallel zu POI und senkrecht zu z stehenden Vektoren x und y. Erst nachdem jeder Teilstrahl eine Faltung durchlaufen hat, also auch der P1 transmittierende Teilstrahl an P2 reflektiert wurde, sind die beiden Teilstrahlen in ihrem xyz-Bezugssystem orthogonal zueinander polarisiert. Dies wird im Kreuzpolarisator immer erreicht.

185

Abb.5b zeigt in einer zweiten Verkörperung einen wichtigen Spezialfall, in dem die Schichtvektoren so gewählt werden, dass V1 von P1 senkrecht zur POI steht und V2 von P2 und V3 von P3 folglich parallel zur POI sind. Dies ermöglicht einen Kreuzpolarisator aus zwei Polarisierungsschichten. Die Funktionsweise des Wire Grid Polarisators P1 entspricht bei der hier gezeigten Einstrahlung (45 Grad zur
190 Normale der Polarisierungsschicht und in der POI) der eines klassischen Dünnschichtpolarisators (z.B. MacNeille), bei dem der reflektierte Strahl einen Schwingungsvektor senkrecht zur POI und der transmittierende Strahl einen Schwingungsvektor parallel zur POI aufweist. Nach dem Stand der Technik werden diese beiden orthogonal zueinander schwingenden Polarisationsrichtungen S-Polarisation (S für senkrecht zur POI) und P-Polarisation (P für parallel zur POI) benannt.

195

4. Polarisationskontrast des Kreuzpolarisators

In Abb.6 zeigen wir, wie der hohe Polarisationskontrast des Kreuzpolarisators entsteht. Hier werden die zueinander komplementären Polarisationsprozesse quantitativ beschrieben. Die Verwendung eines
200 Kreuzpolarisators führt dazu, dass beide Teilstrahlen eine gleich hohe Polarisationsreinheit besitzen. Ist der Kreuzpolarisator aus ProFlux-WGP (Moxtek) aufgebaut, gelten folgende Werte: Ein linear polarisierter Lichtstrahl (Abb.6a), der P1 maximal transmittiert (Transmissionskoeffizient $TK=0,885$) wird an P2 maximal reflektiert (Reflektionskoeffizient $RK=0,880$). Ein dazu orthogonal linear polarisierter Lichtstrahl (Abb.6b) transmittiert P1 minimal ($TK=0,003$) und wird an P2 minimal reflektiert ($TR=0,050$).

205 Die Daten für Reflektion und Transmission sind entnommen aus: "Kahn: Doing it with stripes, Private Report on Projection Display, V7, No.10, 2001, www.profluxpolarizer.com". Die dazu komplementäre Situation zeigen Abb.6c,d an den Polarisatoren P1 und P3. Ein auf einen der beiden Polarisatoren einfallender unpolarisierter Lichtstrahl hat im transmittierenden Strahl einen hohen Polarisationskontrast von $0,885/0,003=295:1$, der reflektierte Teilstrahl einen geringen Polarisationskontrast von
210 $0,880/0,50=17,6:1$. Nach der zweiten Polarisation am komplementären Polarisator sind beide Teilstrahlen durch die Kopplung einer polarisierenden Transmission mit einer polarisierenden Reflektion von gleich hohem Polarisationskontrast $295 \times 17,6 > 5000:1$.

5. Der vierarmige Kreuzpolarisator (dritte und vierte Verkörperung der Erfindung)

215 Zum Aufbau des vierarmigen Kreuzpolarisators werden die in Abb.5 gezeigten dreiarmligen Kreuzpolarisatoren durch eine vierte Polarisationsschicht P4 so ergänzt (Abb.7), dass P4 mit P2 entlang einer dritten optischen Achse A3 und P4 mit P3 entlang einer vierten optischen Achse einen zusätzlichen dreiarmligen Kreuzpolarisator bildet (siehe auch Abb.3). Die durch diese kreuzförmige Anordnung
220 entstehenden vier Quadranten werden im Folgenden mit Süd-, Nord-, Ost- und West-Quadrant bezeichnet. Abb.7a zeigt in einer dritten Verkörperung unserer Erfindung einen vierarmigen Kreuzpolarisator mit von der POI entkoppelten Schichtvektoren.

Abb.7b zeigt in einer vierten Verkörperung einen vierarmigen Kreuzpolarisator mit Schichtvektoren
225 parallel und senkrecht zur POI. Mit dieser Anordnung ist es möglich, mehrere Kreuzpolarisationsfunktionen zu koppeln. Im Gegensatz zur dritten Verkörperung (Abb.7a), bei der die Kreuzpolarisationsfunktionen an P1, P2, P3 (Strahlengang mit durchgezogenen Linien) und P3, P4, P1 (Strahlengang gestrichelt) Licht mit unterschiedlicher Polarisationsrichtung in die beiden Hälften des Ost-Quadranten und Licht mit unterschiedlicher Polarisationsrichtung in die beiden Hälften des West-
230 Quadranten schicken, ermöglicht die vierte Verkörperung, dass beide Einstrahlungs-Kreuzpolarisatoren P-Licht in den West-Quadranten und S-Licht in den Ost-Quadranten schicken (Abb.7b). Analog zu dem in Abb.5b gezeigten dreiarmligen Kreuzpolarisator haben bei diesem vierarmigen Kreuzpolarisator die Schichten P2 und P3 den gleichen Schichtvektor und zusätzlich auch P1 und P4 den gleichen Schichtvektor. Die Schichten können sich so im Zentrum der Anordnung berühren bzw. durch
235 durchlaufende Schichten realisiert sein. So wird in dieser vierten Verkörperung des vierarmigen Kreuzpolarisators mit Schichtvektoren parallel und senkrecht zur POI eine gleichzeitige Einstrahlung auf P1 und P3 ermöglicht. Wir bezeichnen diese Verkörperung als geschlossene Bauform des vierarmigen Kreuzpolarisators, im Gegensatz zu der in Abb.7a gezeigten Verkörperung, die wir als offene Bauform des vierarmigen Kreuzpolarisators bezeichnen.

240 Ein wichtiges Detail dieser geschlossenen Bauform (Abb.7b) ist die zentrale Kreuzungslinie. Deren Größe wird neben Ungenauigkeiten in der Fertigung auch durch die Dicke der kartesischen Polarisationsschicht bestimmt, die bei Wire Grid Polarisatoren von Moxtek weniger als $0,2 \mu\text{m}$ beträgt. In der geschlossenen Bauform von Abb.7b (siehe auch Abb.8b) wird sichtbar, dass das zeitliche Kommutativgesetz für
245 Transmission und Reflektion für die Kreuzpolarisation Gültigkeit hat: das auf P1 (eine Hälfte des Süd-

Quadranten) eingestrahlt Licht einer Polarisationsrichtung erfährt zuerst eine Transmission und dann eine Reflektion, das auf P3 (die andere Hälfte des Süd-Quadranten) eingestrahlt Licht dergleichen Polarisationsrichtung erfährt dagegen zuerst eine Reflektion und dann eine Transmission. Trotz unterschiedlicher Reihenfolge der Polarisationsprozesse ist das in beide Hälften eines

Ausstrahlquadranten (West, Ost) gelenkte Licht einer Polarisationsrichtung von gleicher Intensität und gleich hohem Polarisationskontrast. Das liegt an der multiplikativen Verrechnung von Reflektions- und Transmissionskoeffizienten. Die Verdopplung der Einstrahlbreite erlaubt eine Reduzierung der Kreuzpolarisatorfläche um den Faktor vier auf nur noch 25% verglichen mit der dritten Verkörperung (vergleiche auch Abb.8a mit Abb.8b).

6. Kreuzpolarisatorfunktionen in 2-Kanal-Bildanzeigesystemen mit polarisationsdrehenden reflektierenden räumlichen Bildmodulatoren (fünfte und sechste Verkörperung der Erfindung)

Die Erweiterung des dreiarmligen Kreuzpolarisators um eine vierte Polarisationschicht hat weitreichende Konsequenzen für dessen Anwendungsbereich. Abb.8 zeigt in einer fünften und sechsten Verkörperung unserer Erfindung den Einsatz des vierarmigen Kreuzpolarisators in der offenen (Abb.8a) und geschlossenen (Abb.8b) Bauform für zweikanalige Bildanzeigesysteme. Der Strahlengang zeigt 2-Kanal-Bildanzeigesysteme mit zwei reflektierenden räumlichen Bildmodulatoren (z.B. polarisationsdrehende Bildmodulatoren vom Typ LCoS) mit einem Kreuzpolarisator, bei dem die Schichtvektoren parallel und senkrecht zur POI liegen.

In der offenen Bauform (Abb.8a) wird in eine Hälfte des Süd-Quadranten (auf P1) unpolarisiertes Licht eingestrahlt (IN). P-polarisiertes Licht, das P1 transmittiert, wird über eine Reflektion an P2 dem räumlichen Lichtmodulator RLM1 zugeführt, der eine Hälfte des West-Quadranten belegt. S-polarisiertes Licht, das an P1 reflektiert wird, transmittiert P3 und wird dem räumlichen Lichtmodulator RLM2 zugeführt, der eine Hälfte des Ost-Quadranten belegt (Kreuzpolarisator P1, P2, P3). An dunklen Bildpunkten (OFF) reflektieren die Bildmodulatoren das Licht entlang der Einspiegelung zurück, ohne die Polarisation zu ändern. An hellen Bildpunkten (ON) wird dagegen die Polarisation von den Bildmodulatoren in die jeweils komplementäre Polarisation gedreht (S-IN wird zu P-ON und P-IN wird zu S-ON). Zur Superposition der ON-Strahlen in eine Hälfte des Ausstrahlquadranten (Nord) wird ein zweiter Kreuzpolarisator (P4, P2, P3) verwendet. Diese offene Bauform lässt sich auch mit Schichtvektoren, die nicht senkrecht oder parallel zur POI stehen, also für beliebige komplementäre Polarisationsrichtungen, realisieren.

In der geschlossenen Bauform (Abb.8b) ist die gleichzeitige Einstrahlung auf P1 und P3 sinnvoll. Im ganzen Süd-Quadranten wird unpolarisiertes Licht über zwei Kreuzpolarisatoren (P1, P2, P3) und (P3, P1, P4) als P-polarisiertes Licht in den ganzen West-Quadranten und als S-polarisiertes Licht in den ganzen Ost-Quadranten eingespiegelt. Nur die in der Polarisationsrichtung gedrehten ON-Strahlen der Bildmodulatoren werden durch zwei weitere Kreuzpolarisatoren (P4, P2, P3) und (P2, P1, P4) in den ganzen vierten Nord-Quadranten superponiert, während die in der Polarisationsrichtung unveränderten OFF-Strahlen in den Eingangsquadranten (Süd) ausgespiegelt werden. Diese Anordnung lässt sich so für

Bildmodulatoren sehr effektiv verkleinern: die geschlossene Bauform belegt nur noch ein Viertel der Fläche der offenen Bauform. Dies erlaubt enorm kompakte Lichtführungsarchitekturen (diese Minimalgröße des Kreuzpolarisators belegt damit eine quadratische Fläche mit einer Kantenlänge, die der RLM-Breite entspricht).

Insbesondere in dieser sechsten Verkörperung mit polarisationsdrehenden reflektiven RLM wird die symmetrisch wirkende Funktion des Kreuzpolarisators sowohl bei der Polarisationsstrahlenteilung als auch bei der Superposition deutlich. Beide durch Polarisation entstehenden Teilstrahlen verlassen hier symmetrisch in diametral entgegengesetzten Richtungen entlang der Ost-West-Achse den Kreuzpolarisator, da im Gegensatz zu einfachen Polarisationsstrahlenteilern jeder Teilstrahl einmal gefaltet wird. Entsprechendes gilt für die Superposition, bei der On- und Off-Strahlen für beide Kanäle symmetrisch in diametral entgegengesetzten Richtungen entlang der Nord-Süd-Achse den Kreuzpolarisator verlassen.

7. Kreuzpolarisatoranordnungen und verwendete Polarisatorarten

Die bisherigen Verkörperungen sind alle mit Wire Grid Polarisatoren realisiert, die senkrecht zu einer gemeinsamen Grundfläche stehen. Die Strahlführung erfolgt ausschließlich durch die an der Kreuzpolarisation beteiligten Polarisationsstrahlenteiler. Im Folgenden wird deutlich, dass diese Einschränkungen für das Kreuzpolarisatorprinzip nicht zwingend erforderlich sind. Auch andere optische Anordnungen und Polarisatorarten sind möglich (Abb.9).

So können zusätzliche Reflektionsflächen M (z.B. Spiegel) im Strahlengang S1 zwischen den Polarisationssschichten des Kreuzpolarisators zugelassen werden (hier ist nur einer der beiden Strahlengänge abgebildet, entsprechendes gilt auch für den zweiten Strahlengang). In diesem Fall stehen nicht mehr die in einer gemeinsamen Achse zusammen mit den Schichtvektoren gebildeten Ebenen E1 und E2 senkrecht zueinander. Vielmehr steht die Spiegelebene E1*, die aus E1 entlang S1 an den aufeinander folgenden Reflektionsflächen von S1 durch aufeinander folgende Spiegelungen entsteht, senkrecht zu E2. Die Ausrichtung der POI der Spiegel M ist so gewählt, dass die zu spiegelnden Ebenen senkrecht oder parallel dazu liegen. Diese von uns bevorzugte Ausrichtung der Spiegel-POI ist aber nicht zwingend. In einer anderen Spiegellage kann jedoch das linear polarisierte Licht als elliptisch polarisiertes Licht reflektiert werden. In diesem Fall wären zusätzlich Polarisationskorrekturen durch Lambda-Plättchen (z.B. full wave plates) nötig. Durch zusätzliche Reflektionsflächen kann die gemeinsame Grundebene aufgelöst werden (vgl. Abb.10).

Bereits in unserer Anmeldung DE102004006148 haben wir darauf hingewiesen, dass WGP mit bestimmten Schichtvektoren V durch Polarisationsstrahlenteiler vom MacNeille-Typ ersetzt sein können (z.B. P1 in Abb.9), worauf wir in der folgenden Verkörperung näher eingehen.

8. Der vierarmige Kreuzpolarisator aus vier Dünnschichtpolarisatoren für polarisationsdrehende reflektive räumliche Lichtmodulatoren (siebte Verkörperung der Erfindung)

Der Kreuzpolarisator dieser Verkörperung (Abb.10) besteht aus 4 PBS nach dem MacNeille-Typ in zwei Ebenen und zwei Spiegeln oder Total-Reflektionsprismen (M). Ein- und Ausgangs-PBS P1 und P4 des Kreuzpolarisators haben gleichgerichtete Schichtvektoren; diese beiden PBS liegen direkt übereinander in den beiden Ebenen. Die Schichtvektoren der beiden Polarisatoren P2 und P3 stehen senkrecht dazu, so dass das Kreuzpolarisationsprinzip erfüllt ist. Diese Anordnung hat aufgrund höherer Kanaltrennung und geringerer Absorption (0,0001 Polarisationsverunreinigungen im transmittierenden Strahl und 0,05 im reflektierten Strahl; 0,95 Transmission und 0,998 Reflektion; entnommen dem Datenblatt für PBS, von Newport Oriel Instruments, Irvine, USA) eine noch deutlich höhere theoretische Kanaltrennung von $(0,95 \times 0,998) / (0,0001 \times 0,05) > 180\,000:1$ als die in Abb.6 ermittelten Werte für WGP ($> 5000:1$). Auch die Lichtausbeute ist erhöht von ca. $60\% = (0,885 \times 0,880)^2$ auf ca. $90\% = (0,95 \times 0,998)^2$. Entsprechend Abb.8a kann diese offene Bauform des vierarmigen Kreuzpolarisators mit polarisationsdrehenden reflektiven räumlichen Lichtmodulatoren betrieben werden. Diese Bauform ist auch mit WGP möglich (nicht gezeigt).

9. Der Kreuzpolarisator in 2-Kanal-Bildanzeigesystemen mit Bildmodulatoren vom Typ Mikro-Elektro-Mechanische Systeme MEMS (achte Verkörperung der Erfindung)

Die Besonderheit der Lichtführungsarchitektur für diese 2-Kanal-Bildanzeigesysteme (Abb.11) liegt in der Verwendung reflektierender Bildmodulatoren, die eine Modulation der Einstrahlung nicht über eine Polarisationsdrehung, sondern über die Richtung der Reflektion des einfallenden Lichtstrahls steuern. MEMS nach dem Stand der Technik bestehen aus einem Array von elektronisch ablenkbaren Mikrosiegeln, die ON-Strahlen in der Normalen des Bildmodulators abstrahlen (Digital Mirror Devices DMD von Texas Instruments). Die Einstrahlung erfolgt derzeit bei den DMD mit 24 Grad zur Normalen des Bildmodulators.

DMD-Bildmodulatoren weisen eine stereoisomere Bauform auf (nach dem Stand der Technik wird derzeit nur eine Form hergestellt). Da bei Verwendung eines einfachen Polarisators zur Superposition nur ein Teilstrahl gefaltet wird, sind entweder zwei zueinander stereoisomere Bildmodulatoren notwendig oder ein Kanal muss vor der Superposition durch eine zusätzliche Spiegelung in die virtuell stereoisomere Form überführt werden (Bausenwein und Mayer DE10361915). Dagegen erlaubt der Kreuzpolarisator (in Abb.11 ist die geschlossene Bauform eingesetzt) die Verwendung nur eines DMD Typs (z.B. die derzeit käufliche Form) ohne zusätzliche Spiegelung, da beide Teilstrahlen eine Faltung erfahren. Die Einstrahlung auf den Kreuzpolarisator (bzw. die DMD) erfolgt unter einem Winkel von 24° zur Grundebene der Anordnung. Dies entspricht dem doppelten Auslenkwinkel der Mikrosiegel des derzeitigen DMD. Diese reflektieren das auf helle Bildpunkte einstrahlende Licht in der Normalen der DMD-Oberfläche. Die ON-Strahlen werden in einer Ebene parallel zur Grundebene des Kreuzpolarisators superponiert. Das von dunklen Bildpunkten reflektierte Licht wird mit einem Ausstrahlwinkel von 48° , der dem Doppelten des Einstrahlwinkels entspricht, in Richtung einer (nicht gezeigten) Strahlenentsorgung (OFF) geführt. Einstrahlung und Ausstrahlung erfolgen in dieser Verkörperung im Süd-Quadranten. In der offenen Bauform entsprechend Abb.5 ist auch ein dreiarmer Kreuzpolarisator ausreichend. Werden

Lambda-Viertel Plättchen ($\lambda/4$) im Strahlengang zwischen Kreuzpolarisator und Bildmodulatoren eingesetzt, wird das On-Licht in den Nord-Quadranten ausgestrahlt.

10. 2-armige Form des Kreuzpolarisators (neunte Verkörperung der Erfindung)

Der dreiarmlige Kreuzpolarisator (Abb.12a) kann unter bestimmten Umständen sinnvoll auf einen zweiarmligen Kreuzpolarisator zurückgeführt werden (Abb.12b). Dies wird dadurch erreicht, dass der von P1 durch eine polarisierende Transmission in den Strahlengang S1 geführte Teilstrahl (hier P-polarisiert) durch mindestens eine zusätzliche Reflektionsfläche (M) im Strahlengang S1 so auf einen zweiten komplementären Polarisator P2 geführt wird, dass P2 diesen Teilstrahl reflektiert. Zusätzlich wird der von P1 durch eine polarisierende Reflektion in den Strahlengang S2 geführte Teilstrahl (hier S-polarisiert) durch mindestens eine zusätzliche Reflektionsfläche (M) im Strahlengang S2 so auf P2 geführt, dass dieser Teilstrahl nun P2 transmittiert.

Der zweiarmlige Kreuzpolarisator kann für beliebige komplementäre Polarisationsrichtungen eingesetzt werden. Allerdings existiert ein gravierender Unterschied zu allen drei- und vierarmigen

Kreuzpolarisatoren: ein durch zueinander komplementäre Polarisationsprozesse polarisierter Teilstrahl kann außerhalb der beteiligten PBS nicht abgegriffen werden, da die Teilstrahlen in S1 und S2 nur zwischen den besagten beiden Polarisationsprozessen getrennt voneinander existieren. Sinnvoll kann diese Verkörperung z.B. in 2-Kanal-Bildanzeigesystemen mit räumlichen Bildmodulatoren vom Typ MEMS genutzt werden, die sich dann in S1 und S2 zwischen P1 und P2 befinden (nicht gezeigt). Da MEMS die Teilstrahlen nicht über Polarisationsdrehung modulieren, werden Polarisationsverunreinigungen, die bei der Strahlenteilung entstehen, beim komplementären Polarisationsprozess der Superposition entsprechend dem Kreuzpolarisationsprinzip ausgespiegelt. Dies führt auch in dieser zweiarmligen Verkörperung mit MEMS zu einer hohen Kanaltrennung von $> 5000:1$ im superponierten Strahl. Das Übersprechen (engl.: crosstalk) ist damit $< 0,0002$. Die im gemeinsamen ON-Strahl superponierten modulierten Teilstrahlen der beiden Kanäle können mittels eines externen Analysators, z.B. einer Passiv-Polarisationsbrille wieder in zwei Teilstrahlen zerlegt werden.

11. Kreuzpolarisatoren mit Glasprismen

Der offene zwei-, drei- und vierarmige Kreuzpolarisator ist aus einzelnen, diskreten Polarisatoren leicht aufbaubar. Schwieriger ist die Herstellung der geschlossenen Bauform, da hier die Qualität und Dimensionierung der zentralen Kreuzungslinie wichtig wird. Bereits in DE102004006148 haben wir Prismen vorgestellt, aus denen die geschlossene Bauform des Kreuzpolarisators mit kartesischen Polarisatoren realisiert werden kann. Außerdem haben wir gezeigt, dass kartesische Polarisatoren mit senkrecht zu einer gemeinsamen Grundebene stehenden Schichtvektoren durch MacNeille-Typ Polarisatoren ersetzt werden können. Abb.13a zeigt einen solchen MacNeille-Typ PBS, dessen Polarisierungsschicht zwischen zwei geraden Teilprismen T1 und T2 liegt. Das resultierende Prisma ist in Abb.13a mit einem Wire Grid Polarisator zu einem dreiarmligen Kreuzpolarisator ergänzt, wobei der Schichtvektor des WGP so liegt, dass dieser komplementär zum PBS wirkt. Alternativ zum

410 Dünnschichtpolarisator P1 von Abb.13a kann natürlich auch ein WGP zwischen T1 und T2 eingearbeitet
 sein (Abb.13b,c). Für manche Anwendungen des dreiarmligen Kreuzpolarisators ist eine Erweiterung
 durch ein Prisma ohne Polarisationsfunktion sinnvoll (Abb.13a bis c). Der geschlossene vierarmige
 Kreuzpolarisator kann auf mehrfache Weise aufgebaut werden: z.B. durch je zwei Prismen aus Abb.13a
 bis Abb.13f (als Beispiel ist Abb.13i gezeigt) oder durch vier Prismen von Abb.13e oder/und Abb.13f
 415 (Abb.13h). Auch kann ein Prisma nach Abb.13a oder b durch einen dreieckigen Dünnschichtpolarisator
 ohne aufgetragenen WGP zum Aufbau einer geschlossenen Bauform des Kreuzpolarisators verwendet
 werden (Abb.13g). Der Fachmann kann viele weitere Möglichkeiten ableiten. Einige dieser Aufbauten
 führen zu einer zweilagigen WGP-Schicht mit parallelen Schichtvektoren (z.B. Abb.13h,i). Alternativ kann
 natürlich ein zweiseitiger WGP an einer Schicht angebracht sein (beschrieben z.B. in EP1158319 von
 420 Kameno und Yoshiki, Jasco Corp.; US20030072079 oder US20040120041 beide von Silverstein et. al.,
 Kodak). Für die Art der Anbringung der Wire Grid Schichten auf den Substraten, z.B. Glas, stehen
 verschiedene Techniken zur Auswahl, wobei wir neben den bereits zitierten von Moxtek auch die
 Methoden von z.B. Kodak (z.B. EP1239308, EP1411377) erwähnen. Neben WGP können auch andere
 kartesischen Polarisatoren, z.B. von 3M (US6391528 von Moshrefzadeh und Thomas) verwendet
 425 werden.

12. Kreuzpolarisatoren mit abgeschlossenem Gehäuse

In Abb.14 zeigen wir einen vierarmigen Kreuzpolarisator, der von einem Gehäuse umschlossen ist.
 430 Dadurch wird ermöglicht, Flüssigkeiten oder Gase in den Gehäusekörper zu füllen, wodurch eventuell
 erwünschte veränderte Brechungseigenschaften ermöglicht werden, oder bei Befüllung mit inerten Gasen
 (wie z.B. Stickstoff) unerwünschte Korrosionseffekte an den Gittern verhindert werden (z.B. Kane und
 Kus US20030117708, Philips). Abb.14a zeigt die offene, Abb.14b die geschlossene Bauform jeweils in
 einem Gehäuse. An den vorhandenen Fenstern können die räumlichen Lichtmodulatoren direkt
 435 angebracht werden. Im Nord-Quadranten kann auch eine Projektionsoptik integriert sein, wodurch die
 sehr kompakte Bauweise erreicht werden kann.

Kurzbezeichnung der Abbildungen:

- 440 Abb.1 zeigt schematisch den Vergleich eines einfachen mit einem komplexen Polarisator.
 Abb.2 zeigt schematisch die Funktionsweise von Polarisationsstrahlenteilern.
 Abb.3 zeigt schematisch die Strukturmerkmale des Kreuzpolarisators.
 Abb.4 zeigt schematisch Funktionsmerkmale des Kreuzpolarisators.
 Abb.5 zeigt schematisch eine erste und zweite Verkörperung des Kreuzpolarisators (dreiarmlig).
 445 Abb.6 zeigt schematisch den Polarisationskontrast im Kreuzpolarisator.
 Abb.7 zeigt schematisch eine dritte und vierte Verkörperung des Kreuzpolarisators (vierarmig).
 Abb.8 zeigt schematisch eine fünfte und sechste Verkörperung des Kreuzpolarisators (mit RLM).
 Abb.9 zeigt schematisch optionale Faltungen des Strahlengangs im Kreuzpolarisator.
 Abb.10 zeigt schematisch eine siebte Verkörperung des Kreuzpolarisators (aus 4 MacNeille-PBS).
 450 Abb.11 zeigt schematisch eine achte Verkörperung des Kreuzpolarisators (mit MEMS).

Abb.12 zeigt schematisch eine neunte Verkörperung des Kreuzpolarisators (zweiarmige Form).

Abb.13 zeigt schematisch Kreuzpolarisatoren mit Glasprismen.

Abb.14 zeigt schematisch Kreuzpolarisatoren mit abgeschlossenem Gehäuse.

455 Detailbeschreibung der Abbildungen:

Abb.1 zeigt den Vergleich eines einfachen und eines zusammengesetzten Polarisators in 2-Kanal-Bildanzeigesystemen mit polarisationsdrehenden reflektiven räumlichen Lichtmodulatoren RLM. Abb.1a zeigt eine Anordnung mit nur einem PBS. Eingestrahlt unpolariertes Licht (IN) wird vom Strahlenteiler P1 in zwei linear polarisierte Teilstrahlen zerlegt. S-polarisiertes Licht (gepunktete Linie) wird durch polarisierende Reflektion an P1 auf den Bildmodulator RLM1 gerichtet. P-polarisiertes Licht (durchgezogene Linie) wird durch polarisierende Transmission an P1 auf den Bildmodulator RLM2 gelenkt. Lichtstrahlen, die auf dunkel darzustellende Bildpunkte der RLM fallen, werden unverändert in die Einstrahlungsachse zurückgespiegelt (OFF). Lichtstrahlen, die auf hell darzustellende Bildpunkte der RLM fallen, erfahren an den RLM eine Drehung der Polarisationssebene (plane of polarization) um 90° (S-polarisiertes Licht wird zu P-polarisiertem Licht und umgekehrt), wodurch diese reflektierten Strahlen in eine gemeinsame ON-Achse superponiert werden. Abb.1b zeigt einen zusammengesetzten Polarisator aus vier gleichen Polarisatoren P1 bis P4 vom MacNeille-Typ. Der unpolarierte Eingangsstrahl (IN) wird an P1 in zwei polarisierte Teilstrahlen zerlegt. Der an P1 reflektierte Teilstrahl (S-polarisiert, gepunktete Linie) wird auch an P3 reflektiert und trifft auf RLM1. Der P1 transmittierende Teilstrahl (P-polarisiert, durchgezogene Linie) transmittiert auch P2 und trifft auf RLM2. Lichtstrahlen, die auf dunkel darzustellende Bildpunkte der RLM fallen, werden unverändert in die Einstrahlungsachse zurückgespiegelt (OFF). Lichtstrahlen, die auf hell darzustellende Bildpunkte der RLM fallen und an den RLM eine Drehung der Polarisationssebene erfahren, werden so superponiert, dass der bei der Einstrahlung zweimal transmittierende Teilstrahl nach der Bildmodulation zwei Reflektionen an P2 und P4 und der bei der Einstrahlung zweimal reflektierte Teilstrahl jetzt zwei Transmissionen an P3 und P4 erfährt. Dadurch werden beide ON-Strahlen über P4 in eine gemeinsame ON-Achse ausgespiegelt. Zusätzliche Clean-up (CP) Polarisatoren sind zwischen P1 und P3 sowie zwischen P2 und P4 installiert. Sie sollen Polarisationsverunreinigungen in den reflektierten Teilstrahlen eliminieren, sind aber nicht an der Strahlenlenkung beteiligt.

Abb.2 zeigt die Funktionsweise von Polarisationsstrahlenteilern und die Definition von Schichtvektoren V und Normalenvektoren N. Dünnschichtpolarisatoren (z.B. MacNeille-PBS, P1 in Abb.2a) polarisieren einen unpolarierten Strahl in zwei linear polarisierte Teilstrahlen. Die Polarisationssebenen E2 und E3 (engl.: plane of polarization, POP) sind dabei so an die POI (engl.: plane of incidence) gekoppelt, dass der durch eine polarisierende Transmission entlang der optischen Achse A1 entstehende linear polarisierte Teilstrahl eine POP parallel zur POI von P1 („P-Polarisation“) hat und der durch polarisierende Reflektion entlang der optischen Achse A2 entstehende linear polarisierte Teilstrahl eine POP senkrecht zur POI von P1 („S-Polarisation“). A1 und A2 stehen zueinander senkrecht und schließen mit dem Normalenvektor N1 der Dünnschicht von P1 jeweils den gleichen Winkel von 45° ein (Brewster-Prinzip). Der Schichtvektor V1, senkrecht zur POI, bildet zusammen mit A2 die Polarisationssebene des

reflektierten Teilstrahls (E3) und zusammen mit A1 eine Ebene E1 senkrecht zur Polarisationssebene des transmittierten Teilstrahls (E2). Bei kartesischen Polarisationsstrahlenteilern (z.B. Wire Grid Polarisatoren WGP, P1 in Abb.2b) kann der Schichtvektor V1 von P1 unabhängig von der POI von P1 gewählt werden.

495 V1 entspricht in der Ausrichtung der Gitterstruktur des WGP und bildet zusammen mit A2 die Polarisationssebene des reflektierten Teilstrahls (E3) und zusammen mit A1 eine Ebene E1 senkrecht zur Polarisationssebene des transmittierten Teilstrahls (E2). Die Polarisationssebenen der Teilstrahlen schließen einen Winkel mit der POI von P1 ein, der beispielhaft verschieden ist von 0° und 90°.

500 Abb.3 zeigt die Strukturmerkmale des Kreuzpolarisators: drei Polarisationsstrahlenteiler P1, P2, P3 mit den Schichtvektoren V1, V2, V3 und den Normalenvektoren N1, N2, N3 normal zur Schicht werden entlang zweier optischer Achsen so angeordnet, dass besagte Schichtvektoren mit den beiden optischen Achsen A1, A2 je zwei Ebenen (E1-E2, E3-E4) bilden, die senkrecht zueinander stehen. Die Ausrichtung der optischen Achse A1 ist verschieden von N1 und N2 und ebenso ist die Ausrichtung von A2
505 verschieden von N1 und N3. Die optischen Achsen A1 und A2 haben mit N1 denselben Schnittwinkel. Dieser dreiarmlige Kreuzpolarisator kann durch eine vierte Polarisationschicht P4 mit einem Schichtvektor V4 und einem Normalenvektor N4 entlang zweier weiterer optischer Achsen A3 und A4 zu einem vierarmigen Kreuzpolarisator erweitert werden, der vier dreiarmlige Kreuzpolarisatoren enthält: (P1,P2,P3), (P4,P2,P3), (P2,P1,P4) und (P3,P4,P1).

510 Abb.4 zeigt die Funktionsmerkmale des Kreuzpolarisators: die reziproke Kopplung einer polarisierenden Transmission mit einer polarisierenden Reflektion an zueinander komplementären Polarisationsstrahlenteilern. Sind zwei Polarisatoren P1 und P2 entlang einer optischen Achse A1 so angeordnet, dass die in Abb.3 beschriebenen strukturellen Voraussetzungen vorliegen, also E1 senkrecht
515 zu E2 steht, dann erfährt ein linear polarisierter Strahl, der P1 maximal transmittiert, an P2 eine Reflektion (Abb.4a), und ein linear polarisierter Strahl, der an P1 maximal reflektiert wird, erfährt an P2 eine Transmission (Abb.4b).

Abb.5a zeigt den dreiarmligen Kreuzpolarisator in einer ersten Verkörperung unserer Erfindung. Drei
520 Polarisationschichten P1, P2, P3 sind senkrecht zu einer gemeinsamen Grundfläche angeordnet, die parallel zur Einstrahlebene POI ist. Die Schichtvektoren der Polarisatoren entsprechen den Wire Grid Achsen und sind so gewählt, dass die in Abb.3 und Abb.4 beschriebenen strukturellen und funktionellen Voraussetzungen gegeben sind. Gezeigt ist die Teilung eines unpolarisierten Eingangsstrahls in zwei verschieden linear polarisierte Teilstrahlen. Der P1 transmittierende Strahl erfährt an P2 eine Reflektion
525 (der auf P2 sichtbare Pfeil ist die Projektion des Schwingungsvektors dieses Teilstrahls auf P2), und der an P1 reflektierte Strahl transmittiert P3 (der auf P3 sichtbare Pfeil ist die Projektion des Schwingungsvektors dieses Teilstrahls auf P3). Jeder Teilstrahl erfährt eine polarisierende Transmission und eine polarisierende Reflektion. Danach sind die Teilstrahlen in einem xyz-Bezugssystem aus Strahlrichtung z und den x und y Vektoren parallel und senkrecht zur POI komplementär linear polarisiert
530 – ihre Schwingungsvektoren sind in dem Bezugssystem senkrecht. Abb.5b zeigt in einer zweiten Verkörperung einen Fall, in dem der Schichtvektor von P1 senkrecht zur POI liegt und die

Schichtvektoren von P2 und P3 parallel zur POI liegen. P2 und P3 sind in dieser Anordnung durch eine einzige Polarisierungsschicht ersetzt.

535 Abb.6 zeigt, wie der in beiden Kanälen des Kreuzpolarisators gleich hohe Polarisationskontrast von 5000:1 bei Verwendung von WGP entsteht (Daten entnommen aus: Kahn: Doing it with stripes, Private Report on Projection Display, V7, No.10, 2001, www.profluxpolarizer.com). P1 mit einem Schichtvektor senkrecht zur POI und damit zur Zeichenebene ist gepunktet dargestellt. Die zu P1 komplementären Polarisatoren P2, P3 mit Schichtvektoren in der Zeichenebene sind durch eine durchgezogene Linie
540 dargestellt. P-polarisiertes Licht (durchgezogene dünne Linie), das in der Zeichenebene schwingt, transmittiert P1 maximal (mit dem Faktor von 0,885) und wird an P2 maximal reflektiert (mit dem Faktor 0,880; Abb.6a). Das orthogonal dazu schwingende S-polarisierte Licht (gepunktete dünne Linie) dagegen transmittiert P1 nur mit dem Faktor 0,003 und wird an P2 nur mit dem Faktor 0,050 reflektiert (Abb.6b). Daraus kann ein Polarisationskontrast ermittelt werden: bei Einstrahlung von unpolarisiertem Licht
545 (Überlagerung von Abb.6a und Abb.6b) auf P1 ist der Polarisationskontrast nach dem Durchlaufen der Transmission und Reflektion 5000:1 (Abb.6e). Die Abb.6c und Abb.6d zeigen den komplementären Sachverhalt für den zweiten Teilstrahl. Hier transmittiert S-polarisiertes Licht P3 maximal und wird an P1 maximal reflektiert (Abb.6d). Das orthogonal dazu schwingende P-polarisierte Licht dagegen transmittiert P3 nur mit dem Faktor 0,003 und wird an P1 nur mit dem Faktor 0,050 reflektiert (Abb.6c). Dies resultiert
550 im gleichen Polarisationskontrast von 5000:1 für den zweiten Teilstrahl.

Abb.7 zeigt vierarmige Kreuzpolarisatoren in einer dritten und vierten Verkörperung unserer Erfindung in einer planaren Anordnung. Durch Hinzunahme einer vierten Polarisierungsschicht (P4) ist der dreiarmlige Kreuzpolarisator aus Abb.5 zu einem vierarmigen Kreuz ausgebaut. Die Polarisierungsschichten stehen in
555 der beispielhaft gezeigten Anordnung rechtwinklig zueinander und senkrecht zu einer gemeinsamen Grundebene, die parallel zur Einstrahlebene POI ist. Der vierarmige Kreuzpolarisator ermöglicht mehrere Kreuzpolarisationsfunktionen. Ein erster Strahlengang (durchgezogene Linie) koppelt P1 mit den dazu komplementären P2 und P3. Ein zweiter Strahlengang (gestrichelte Linie) koppelt P3 mit den dazu komplementären P1 und P4. Die Schichtvektoren der in Abb.7a gezeigten offenen Bauform sind nicht
560 speziell an die POI gekoppelt. Dadurch wird jeweils in die beiden Hälften des West- und Ost-Quadranten verschieden polarisiertes Licht geführt, wenn auf P1 und P3 eingestrahlt wird. In Abb.7b ist die geschlossene Bauform des vierarmigen Kreuzpolarisators gezeigt. In dieser berühren sich die vier Polarisierungsschichten an einer gemeinsamen Schnittachse normal zur Grundebene. Diese Bauform ist vor allem sinnvoll mit Schichtvektoren parallel und senkrecht zur Grundebene der Anordnung. Die
565 Einstrahlung aus der gleichen Richtung auf P1 und P3 führt hier zu P-polarisiertem Licht im ganzen West-Quadranten (linke Bildseite) und zu S-polarisiertem Licht im ganzen Ost-Quadranten (rechte Bildseite).

Abb.8 zeigt den vierarmigen Kreuzpolarisator in einer fünften und sechsten Verkörperung unserer Erfindung mit 2-Kanal-Bildanzeigen. Hier ist die offene Bauform (Abb.8a) bzw. die geschlossene Bauform
570 (Abb.8b) direkt mit polarisationsdrehenden reflektiven RLM kombiniert. In der offenen Bauform wird über einen Kreuzpolarisator (P1, P2, P3) auf die beiden RLM eingestrahlt (IN, P-polarisiertes Licht auf RLM1 und S-polarisiertes Licht auf RLM2). Das auf dunkle Bildpunkte fallende Licht wird von beiden RLM ohne

Polarisationsdrehung in den Einstrahlweg reflektiert (OFF). Das auf helle Bildpunkte fallende Licht wird von beiden RLM in der Polarisation gedreht (ON) und von einem zweiten Kreuzpolarisator (P4, P2, P3) superponiert im Nord-Quadranten ausgespiegelt. Die geschlossene Bauform von Abb.8b erlaubt ein gleichzeitiges Einstrahlen auf P1 und P3 im gesamten Süd-Quadranten der Anordnung. Gemäß Abb.7b führt dies für beide Einstrahl-Kreuzpolarisatoren (P1, P2, P3) und (P3, P1, P4) zu P-polarisiertem Licht im Ost- und S-polarisiertem Licht im West-Quadranten. Für die Superposition werden zwei weitere Kreuzpolarisatoren (P2, P1, P4) sowie (P4, P3, P2) verwendet. Insgesamt werden zur Einspiegelung auf die RLM und zur Ausspiegelung der ON- und OFF-Strahlen vier sich überlappende Kreuzpolarisatoren eingesetzt. Die geschlossene Bauform belegt weniger als 25% der Fläche der offenen Bauform.

Abb.9 zeigt schematisch optionale Faltungen des Strahlengangs im Kreuzpolarisator. Das Prinzip reziproker Kopplung zueinander komplementärer Polarisationschichten ist hier dargestellt an einem Strahlengang S1 mit zwei zusätzlichen Spiegeln M. Der Schichtvektor V1 des Polarisators P1 (gezeigt ist ein MacNeille-PBS) und die an P1 anliegende optische Achse von S1 bilden die Ebene E1. Der Schichtvektor V2 des Polarisators P2 (gezeigt ist ein kartesischer Polarisator) und die an P2 anliegende optische Achse von S1 bilden die Ebene E2. Die Spiegelebene E1*, die aus E1 entlang S1 an den aufeinander folgenden Reflektionsflächen M von S1 durch aufeinander folgende Spiegelungen entsteht, steht senkrecht zu E2. Im Gegensatz zu den bisherigen Abbildungen stehen die Polarisationschichten von P1 und P2 nicht senkrecht auf einer gemeinsamen Grundfläche. N1 ist der Normalenvektor der Polarisationschicht P1 und N2 der Normalenvektor der Polarisationschicht P2.

Abb.10 zeigt in einer siebten Verkörperung unserer Erfindung einen gefalteten Kreuzpolarisator aus vier MacNeille-Typ Polarisatoren P1, P2, P3, P4 und zwei Spiegelflächen (M) in Form von TIR-Prismen (Total Internal Reflectance) in Verbindung mit polarisationsdrehenden reflektiven RLM1 und RLM2. Die Einstrahlung (IN) unpolarisierten Lichts sowie die Ausstrahlung der OFF-Strahlen erfolgt über einen Kreuzpolarisator (P1, P3, P2), der in beiden Strahlengängen durch eine Reflektionsfläche M erweitert ist. Die Superposition der ON-Strahlen erfolgt über einen Kreuzpolarisator (P4, P3, P2) ohne zusätzliche Reflektionsflächen. Diese Verkörperung entspricht der offenen Bauform des vierarmigen Kreuzpolarisators.

Abb.11 zeigt in einer achten Verkörperung unserer Erfindung einen vierarmigen Kreuzpolarisator der geschlossenen Bauform in Verbindung mit reflektiven RLM vom Typ DMD. Diese modulieren das eingestrahlte Licht (IN) nicht über eine Drehung der Polarisation, sondern über die verschiedene Abstrahlrichtung. DMD1 und DMD2 weisen identische Topologie auf (sind der gleiche stereoisomere Typ). Sie reflektieren das auf helle Bildpunkte eingestrahlte Licht normal zur DMD-Oberfläche. Da sich die Polarisation nicht dreht, werden die ON-Strahlen beider DMD wieder in den Einstrahlungsquadranten superponiert. Die Einstrahlungs-POI bildet mit der Ausstrahlungs-POI einen Schnittwinkel, der mit den Spiegelauslenkungen der DMD abgestimmt ist. Das von dunklen Bildpunkten reflektierte Licht wird mit einem Ausstrahlwinkel, der von der Spiegelauslenkung der DMD und dem Einstrahlwinkel bestimmt wird, in Richtung einer (nicht gezeigten) Strahlenentsorgung (OFF) geführt.

Abb.12 zeigt eine zweiarmige Form des Kreuzpolarisators (neunte Verkörperung unserer Erfindung). Der in Abb.12a gezeigte dreiarmlige Kreuzpolarisator kann durch Einführen von zusätzlichen Spiegeln (M) zu einem zweiarmigen Kreuzpolarisator verändert werden (Abb.12b). Der von P1 durch eine polarisierende Transmission in den Strahlengang S1 geführte Teilstrahl (hier P-polarisiert) und der von P1 durch eine polarisierende Reflektion in den Strahlengang S2 geführte Teilstrahl (hier S-polarisiert) werden beide so auf einen zweiten komplementären Polarisator P2 geführt, dass S-polarisiertes Licht P2 transmittiert und P-polarisiertes Licht an diesem reflektiert wird. Da die Teilstrahlen in S1 und S2 nur zwischen den besagten beiden Polarisatoren getrennt voneinander existieren, kann diese Verkörperung sinnvoll z.B. in 2-Kanal-Bildanzeigesystemen mit räumlichen Bildmodulatoren z.B. vom Typ MEMS genutzt werden, die sich in S1 und S2 zwischen P1 und P2 befinden.

Abb.13 zeigt Kreuzpolarisatoren mit Glasprismen. Abb.13a zeigt einen Kreuzpolarisator, der aus einem geraden dreieckigen Prisma besteht, welches zusammengesetzt ist aus zwei geraden Teilprismen T1 und T2. Zwischen T1 und T2 befindet sich eine Polarisationschicht P1 vom Typ Dünnschichtpolarisator. Eine Mantelfläche des zusammengesetzten Prisma trägt eine kartesische Polarisationschicht P2/P3, deren Schichtvektor V2 parallel zur Grundfläche steht. Ein drittes Glasprisma kann, wie in Abb.13a bis c gezeigt, die Anordnungen ergänzen. In Abb.13b ist P1 durch eine kartesische Polarisationschicht realisiert. Abb.13c entspricht Abb.13b mit ausgetauschten Schichtvektoren. Abb.13d-f zeigen Prismenanordnungen mit kartesischen Schichten, aus denen sich ein Kreuzpolarisator (drei- oder vierarmig) zusammensetzen lässt. Bereits aus zwei der in Abb.13d-f gezeigten Prismen kann ein vierarmiger Kreuzpolarisator aufgebaut werden. Vier der in Abb.13e-f gezeigten Prismen ergeben einen vierarmigen Kreuzpolarisator mit verdoppelten Polarisationschichten (z.B. Abb.13h). In Abb.13f sind die Polarisationschichten auf die großen Mantelflächen der Teilprismen T1a und T1b aufgebracht. In dem in Abb.13g gezeigten vierarmigen Kreuzpolarisator wird der in Abb.13a gezeigte dreiarmlige Kreuzpolarisator durch einen weiteren dreieckigen Polarisator vom MacNeille-Typ ergänzt. Abb.13i zeigt exemplarisch einen vierarmigen Kreuzpolarisator, bei dem die Polarisationschichten nicht orthogonal zueinander stehen.

Abb.14 zeigt Kreuzpolarisatoren mit abgeschlossenem Gehäuse. Abb.14a zeigt die offene, Abb.14b die geschlossene Bauform des vierarmigen Kreuzpolarisators jeweils in einem Gehäuse. An den vorhandenen Öffnungen können die RLM direkt angebracht werden (Abb.14b). Auch können optische Elemente (z.B. die Projektionsoptik L) integriert sein.

Während die Erfindung im vorliegenden Text anhand detaillierter Verkörperungen dargestellt und beschrieben wird, dienen diese Verkörperungen zur Illustration der Erfindung und sollen nicht als Limitierung der Erfindung verstanden werden. Veränderungen in Form und Detail können durch den Fachmann abgeleitet werden, ohne dabei den Rahmen der Erfindung zu verlassen, die durch folgende Ansprüche definiert ist:

Ansprüche:

- 655 1. Vorrichtung zur reziproken Polarisation mit zueinander komplementären Polarisationsschichten (Kreuzpolarisator), dadurch gekennzeichnet, dass
- 660 1.1 sie aus mindestens drei Polarisationsschichten P_i ($i=1,2,3$) besteht, dadurch gekennzeichnet, dass jedes P_i einen Normalenvektor N_i normal zu P_i und einen Schichtvektor V_i komplanar zu P_i besitzt, und V_i zusammen mit den optischen Einfall- und Reflektionsachsen von P_i definiert, welche
- 665 1.2 die Polarisationsschichten P_1 und P_2 entlang einer ersten optischen Achse A_1 so angeordnet sind, dass sie zueinander komplementäre Polarisationsschichten sind, dadurch gekennzeichnet, dass die Ebene E_1 , die gebildet ist aus A_1 und V_1 , senkrecht steht zur Ebene E_2 , die gebildet ist aus A_1 und V_2 ,
- 670 1.3 besagte Polarisationsschicht P_1 und eine Polarisationsschicht P_3 entlang einer zweiten optischen Achse A_2 so angeordnet sind, dass sie zueinander komplementäre Polarisationsschichten sind, dadurch gekennzeichnet, dass die Ebene E_3 , die gebildet ist aus A_2 und V_1 , senkrecht steht zur Ebene E_4 , die gebildet ist aus A_2 und V_3 ,
- 675 1.4 sich die beiden optischen Achsen A_1 und A_2 in P_1 schneiden, und die beiden Schnittwinkel von N_1 mit A_1 und N_1 mit A_2 gleich groß sind,
- 675 1.5 die Positionierung der Polarisationsschichten so erfolgt, dass im Strahlengang eine Transmission an P_1 entlang A_1 gekoppelt ist mit einer Reflektion an P_2 , und eine Reflektion an P_1 gekoppelt ist mit einer Transmission an P_3 entlang A_2 .
- 680 2. Kreuzpolarisator nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass alle besagten Polarisationsschichten kartesische Polarisationsschichten sind, dadurch gekennzeichnet, dass die Polarisationsebenen unabhängig von der Einstrahlungsebene definierbar sind, und alle besagten Polarisationsschichten in Ebenen liegen, die senkrecht zu einer gemeinsamen Grundebene stehen und alle besagten optischen Achsen komplanar zu besagter Grundebene sind.
- 685 3. Kreuzpolarisator nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Schichtvektor V_1 von P_1 und der Schichtvektor V_2 von P_2 senkrecht aufeinander stehen.
- 690 4. Kreuzpolarisator nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass P_2 und P_3 eine gemeinsame Polarisationsschicht bilden.
5. Kreuzpolarisator nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass
- 5.1 er mindestens ein gerades Prisma (bei welchem die Kanten auf der Grundfläche senkrecht stehen)

- mit der Grundfläche eines Dreiecks enthält, welches zusammengesetzt ist aus zwei geraden Teilprismen T1 und T2 (bei welchen die Kanten senkrecht auf der Grundfläche stehen) mit der Grundfläche eines gleichschenkligen Dreiecks,
- 695
- 5.2 die Mantelfläche des Teilprisma T2, die zwischen den besagten Teilprismen liegt, eine kartesische Polarisierungsschicht P1 trägt,
- 5.3 die Mantelfläche des Teilprisma T1, die mit einer Mantelfläche des Teilprisma T2 eine gemeinsame Mantelfläche des zusammengesetzten Prisma bildet, eine kartesische Polarisierungsschicht P2
- 700 trägt.
6. Kreuzpolarisator nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass er mindestens ein gerades Prisma (bei welchem die Kanten auf der Grundfläche senkrecht stehen) mit der Grundfläche eines gleichschenkligen Dreiecks enthält, bei welchem die beiden gleichgroßen Mantelflächen
- 705 zueinander komplementäre Polarisierungsschichten P1 und P2 tragen.
7. Kreuzpolarisator nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass eine zusätzliche vierte Polarisierungsschicht P4 mit besagtem P2 entlang einer dritten optischen Achse A3 und mit besagtem P3 entlang einer vierten optischen Achse A4 einen zusätzlichen Kreuzpolarisator nach Anspruch 1 bildet.
- 710
8. Kreuzpolarisator nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Polarisierungsschichten von P1 und P4 mit zueinander parallelen Schichtvektoren in einer gemeinsamen Ebene E1 liegen und die Polarisierungsschichten von P2 und P3 mit zueinander parallelen Schichtvektoren in einer
- 715 gemeinsamen Ebene E2 liegen und E1 und E2 eine Schnittgerade haben, an der alle 4 besagten Polarisierungsschichten zusammentreffen.
9. Vorrichtung zur reziproken Polarisierung mit zueinander komplementären Polarisierungsschichten (Kreuzpolarisator), dadurch gekennzeichnet, dass
- 720 9.1 sie aus zwei Polarisierungsschichten P_i ($i=1,2$) besteht, dadurch gekennzeichnet, dass jedes P_i einen Normalenvektor N_i normal zu P_i und einen Schichtvektor V_i komplanar zu P_i besitzt, und V_i zusammen mit den optischen Einfall- und Reflektionsachsen von P_i definiert, welche Polarisierungsrichtungen der auf P_i einfallenden elektromagnetischen Strahlung reflektiert werden (polarisierende Reflektion) beziehungsweise P_i transmittieren (polarisierende Transmission),
- 725 dadurch gekennzeichnet, dass V_i zusammen mit der Reflektionsachse von P_i die Polarisierungsebene des reflektierten Strahls aufspannt, und V_i zusammen mit der Einfallachse von P_i eine Ebene aufspannt zu der die Polarisierungsebene des transmittierenden Strahls senkrecht steht,
- 9.2 die Polarisierungsschichten P1 und P2 entlang eines ersten optischen Strahlengangs S1, der durch Reflektionsflächen gefaltet sein kann, so angeordnet sind, dass sie zueinander komplementäre Polarisierungsschichten sind, dadurch gekennzeichnet, dass die Ebene E1, die gebildet ist aus der an P1 in S1 anliegenden optischen Achse und V_1 , und die Ebene E2, die gebildet ist aus der an P2 in S1 anliegenden optischen Achse und V_2 , eine Lagebeziehung besitzen, dadurch
- 730

- gekennzeichnet, dass die Spiegelebene E1* die durch aufeinander folgende Spiegelungen der Ebene E1 an den aufeinander folgenden Reflektionsflächen von S1 hervorgeht, senkrecht steht zur Ebene E2,
- 9.3 die besagten Polarisationssschichten P1 und P2 entlang eines zweiten optischen Strahlengangs S2, der durch Reflektionsflächen gefaltet sein kann, so angeordnet sind, dass sie zueinander komplementäre Polarisationssschichten sind, dadurch gekennzeichnet, dass die Ebene E3, die gebildet ist aus der an P1 in S2 anliegenden optischen Achse und V1, und die Ebene E4, die gebildet ist aus der an P2 in S2 anliegenden optischen Achse und V2, eine Lagebeziehung besitzen, dadurch gekennzeichnet, dass die Spiegelebene E3*, die durch aufeinander folgende Spiegelungen der Ebene E3 an den aufeinander folgenden Reflektionsflächen von S2 hervorgeht, senkrecht steht zur Ebene E4,
- 9.4 die beiden optischen Strahlengänge S1 und S2 sich in P1 und P2 schneiden, und die beiden Schnittwinkel von N1 mit S1 und N1 mit S2 gleich groß sind, und die beiden Schnittwinkel von N2 mit S1 und N2 mit S2 gleich groß sind,
- 9.5 die Positionierung der Polarisationssschichten so erfolgt, dass im Strahlengang eine Transmission an P1 entlang S1 gekoppelt ist mit einer Reflektion an P2, und eine Reflektion an P1 gekoppelt ist mit einer Transmission an P2 entlang S2.
10. Vorrichtung zur reziproken Polarisation mit zueinander komplementären Polarisationssschichten (Kreuzpolarisator), dadurch gekennzeichnet, dass
- 10.1 sie aus mindestens drei Polarisationssschichten P_i ($i=1,2,3$) besteht, dadurch gekennzeichnet, dass jedes P_i einen Normalenvektor N_i normal zu P_i und einen Schichtvektor V_i komplanar zu P_i besitzt, und V_i zusammen mit den optischen Einfalls- und Reflektionsachsen von P_i definiert, welche Polarisationsrichtungen der auf P_i einfallenden elektromagnetischen Strahlung reflektiert werden (polarisierende Reflektion) beziehungsweise P_i transmittieren (polarisierende Transmission), dadurch gekennzeichnet, dass V_i zusammen mit der Reflektionsachse von P_i die Polarisationssebene des reflektierten Strahls aufspannt, und V_i zusammen mit der Einfallsachse von P_i eine Ebene aufspannt, zu der die Polarisationssebene des transmittierenden Strahls senkrecht steht,
- 10.2 die Polarisationssschichten P1 und P2 entlang eines ersten optischen Strahlengangs S1, der durch Reflektionsflächen gefaltet sein kann, so angeordnet sind, dass sie zueinander komplementäre Polarisationssschichten sind, dadurch gekennzeichnet, dass die Ebene E1, die gebildet ist aus der an P1 in S1 anliegenden optischen Achse und V1, und die Ebene E2, die gebildet ist aus der an P2 in S1 anliegenden optischen Achse und V2, eine Lagebeziehung besitzen, dadurch gekennzeichnet, dass die Spiegelebene E1* die durch aufeinander folgende Spiegelungen der Ebene E1 an den aufeinander folgenden Reflektionsflächen von S1 hervorgeht, senkrecht steht zur Ebene E2,
- 10.3 besagte Polarisationssschicht P1 und eine Polarisationssschicht P3 entlang eines zweiten optischen Strahlengangs S2, der durch Reflektionsflächen gefaltet sein kann, so angeordnet sind, dass sie zueinander komplementäre Polarisationssschichten sind, dadurch gekennzeichnet, dass die Ebene E3, die gebildet ist aus der an P1 in S2 anliegenden optischen Achse und V1, und die Ebene E4,

- 775 die gebildet ist aus der an P3 in S2 anliegenden optischen Achse und V3, eine Lagebeziehung besitzen, dadurch gekennzeichnet, dass die Spiegelebene E3*, die durch aufeinander folgende Spiegelungen der Ebene E3 an den aufeinander folgenden Reflektionsflächen von S2 hervorgeht, senkrecht steht zur Ebene E4,
- 10.4 die beiden optischen Strahlengänge S1 und S2 sich in P1 schneiden, und die beiden Schnittwinkel
780 von N1 mit S1 und N1 mit S2 gleich groß sind,
- 10.5 die Positionierung der Polarisierungsschichten so erfolgt, dass im Strahlengang eine Transmission an P1 entlang S1 gekoppelt ist mit einer Reflektion an P2, und eine Reflektion an P1 gekoppelt ist mit einer Transmission an P3 entlang S2.
- 785 11. Kreuzpolarisator nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass eine zusätzliche vierte Polarisierungsschicht P4 mit besagtem P2 entlang eines dritten optischen Strahlengangs S3 und mit besagtem P3 entlang eines vierten optischen Strahlengangs S4 einen zusätzlichen Kreuzpolarisator nach Anspruch 10 bildet.
- 790 12. Kreuzpolarisator nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eine Polarisierungsschicht in der Anordnung ein doppelter bzw. zweiseitiger kartesischer Polarisator mit parallelen Schichtvektoren ist.
13. Kreuzpolarisator nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass alle verwendeten
795 Polarisationsstrahlenteiler kartesische Polarisatoren sind, wie z.B. Wire Grid Polarisatoren.
14. Kreuzpolarisator nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass alle verwendeten Polarisationsstrahlenteiler Dünnschichtpolarisatoren nach dem Brewster Prinzip sind, wie z.B. MacNeille-PBS.
800
15. Kreuzpolarisator nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass alle Polarisierungsschichten des Kreuzpolarisators durch ein Gehäuse eingeschlossen sind und die Strahlenführung in den und aus dem Kreuzpolarisator entweder durch Fenster oder Öffnungen ermöglicht wird.
- 805 16. Vorrichtung zur Lichtführung für Zweikanalbildanzeigen mit mindestens einem Kreuzpolarisator nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass zwei Bildkanäle existieren, in jedem Bildkanal mindestens 1 räumlicher Bildmodulator eingesetzt wird und zur Einstrahlung in die beiden Bildkanäle besagter Kreuzpolarisator verwendet wird.
- 810 17. Vorrichtung zur Lichtführung für Zweikanalbildanzeigen mit mindestens einem Kreuzpolarisator nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass zwei Bildkanäle existieren, in jedem Bildkanal mindestens 1 räumlicher Bildmodulator eingesetzt wird und zur Superposition der räumlich modulierten Bildstrahlen besagter Bildkanäle besagter Kreuzpolarisator verwendet wird.
- 815 18. Vorrichtung zur Lichtführung für Zweikanalbildanzeigen mit mindestens einem Kreuzpolarisator

nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass zwei Bildkanäle existieren, in jedem Bildkanal mindestens 1 räumlicher Bildmodulator eingesetzt wird, dadurch gekennzeichnet, dass besagte Bildmodulatoren vom Typ Mikro-Elektro-Mechanische Systeme (MEMS, z.B. DMD von Texas Instruments) sind und zur Einstrahlung in die beiden Bildkanäle sowie zur Superposition der räumlich modulierten Bildstrahlen derselbe Kreuzpolarisator verwendet wird, dadurch gekennzeichnet, dass die Einstrahlebene von P1 mit der Superpositionsebene von P1 einen Schnittwinkel bildet, der verschieden von Null ist.

19. Vorrichtung zur Lichtführung für Zweikanalbildanzeigen mit einem Kreuzpolarisator nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass in den Strahlengängen S1 und S2 zwischen P1 und P2 mindestens je ein räumlicher Bildmodulator eingesetzt wird.
20. Vorrichtung zur Lichtführung für Zweikanalbildanzeigen mit mindestens einem Kreuzpolarisator nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass alle Polarisationschichten des Kreuzpolarisators durch ein Gehäuse eingeschlossen sind, die Strahlenführung in den und aus dem Kreuzpolarisator entweder durch Fenster oder Öffnungen ermöglicht wird und zwei räumliche Bildmodulatoren an besagtem Gehäuse montiert sind.
21. Kreuzpolarisator nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass er mindestens ein gerades Prisma (bei welchem die Kanten auf der Grundfläche senkrecht stehen) mit der Grundfläche eines Dreiecks enthält, welches zusammengesetzt ist aus zwei geraden Teilprismen (bei welchen die Kanten senkrecht auf der Grundfläche stehen) mit der Grundfläche eines gleichschenkligen Dreiecks, dadurch gekennzeichnet, dass besagte Teilprismen so zusammengesetzt sind, dass eine Polarisationschicht P1 vom Typ Dünnschichtpolarisator zwischen den Teilprismen zu liegen kommt, und die Mantelfläche des zusammengesetzten Prisma, die sich aus zwei Mantelflächen der Teilprismen zusammensetzt, eine kartesische Polarisationschicht P2 trägt, deren Schichtvektor V2 parallel zur Grundfläche steht.
22. Kreuzpolarisator nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass er mindestens ein gerades Prisma (bei welchem die Kanten auf der Grundfläche senkrecht stehen) mit der Grundfläche eines Dreiecks enthält, welches zusammengesetzt ist aus zwei geraden Teilprismen T1 und T2 (bei welchen die Kanten senkrecht auf der Grundfläche stehen) mit der Grundfläche eines gleichschenkligen Dreiecks, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen den Teilprismen eine kartesische Polarisationschicht P1 mit dem Schichtvektor V1 liegt, und die Mantelfläche des zusammengesetzten Prisma, die sich aus zwei Mantelflächen der Teilprismen zusammensetzt, eine kartesische Polarisationschicht P2 trägt, deren Schichtvektor V2 senkrecht auf V1 steht.
23. Kreuzpolarisator nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass er mindestens ein gerades Prisma (bei welchem die Kanten auf der Grundfläche senkrecht stehen) mit der Grundfläche eines Dreiecks enthält, welches zusammengesetzt ist aus zwei geraden Teilprismen T1a und T1b (bei welchen die Kanten senkrecht auf der Grundfläche stehen) mit der Grundfläche eines

gleichschenkligen Dreiecks, dadurch gekennzeichnet, dass die beiden Mantelflächen des zusammengesetzten Prisma, die aus je einer Mantelfläche eines der Teilprismen besteht, Polarisationschichten P1 und P2 tragen.

860

24. Kreuzpolarisator nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass er mindestens ein gerades Prisma (bei welchem die Kanten auf der Grundfläche senkrecht stehen) mit der Grundfläche eines Dreiecks enthält, welches zusammengesetzt ist aus zwei geraden Teilprismen (bei welchen die Kanten senkrecht auf der Grundfläche stehen) mit der Grundfläche eines gleichschenkligen Dreiecks, dadurch gekennzeichnet, dass besagte Teilprismen so zusammengesetzt sind, dass eine Polarisationschicht P1 vom Typ Dünnschichtpolarisator zwischen den Teilprismen zu liegen kommt.
25. Kreuzpolarisator nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass alle kartesischen Polarisationschichten doppelseitig sind.

865

870

1/14

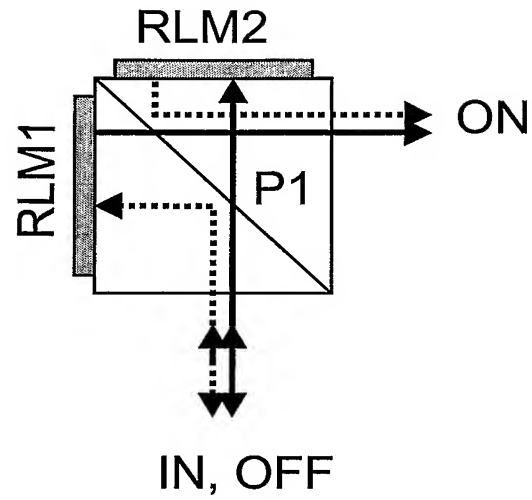


Fig. 1A

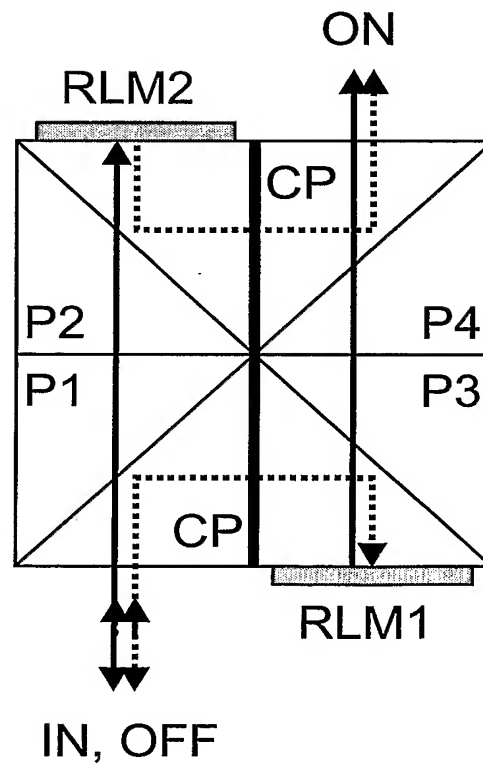
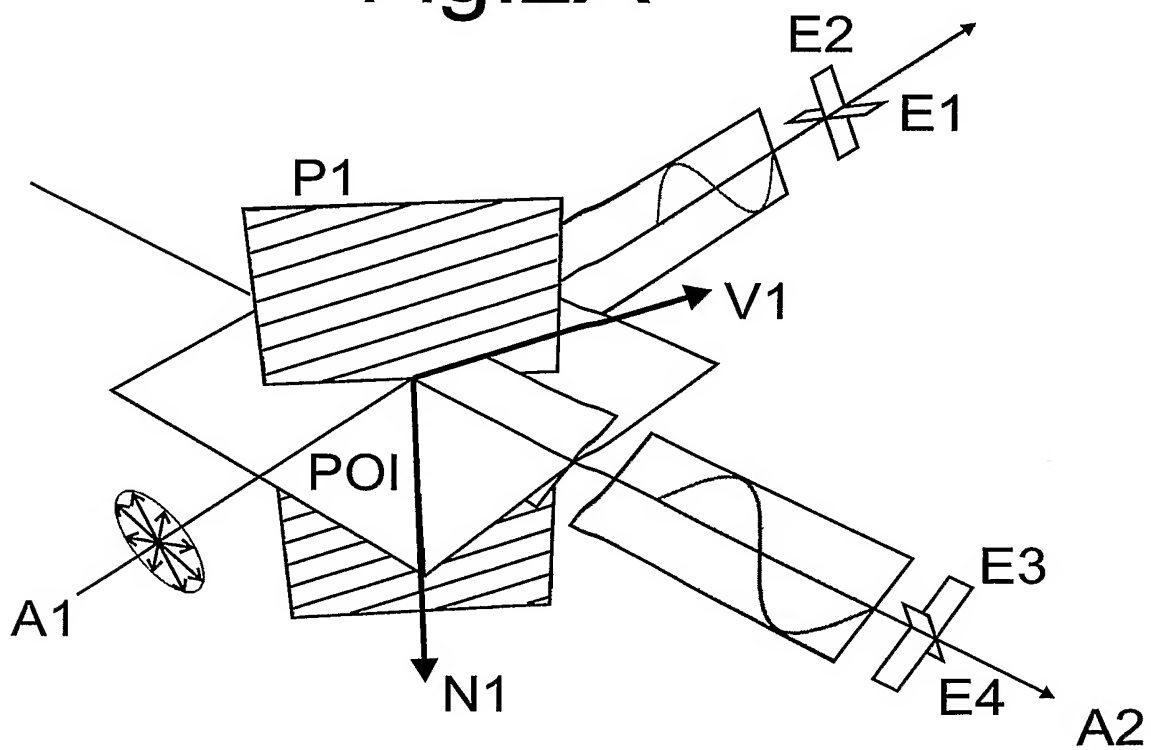
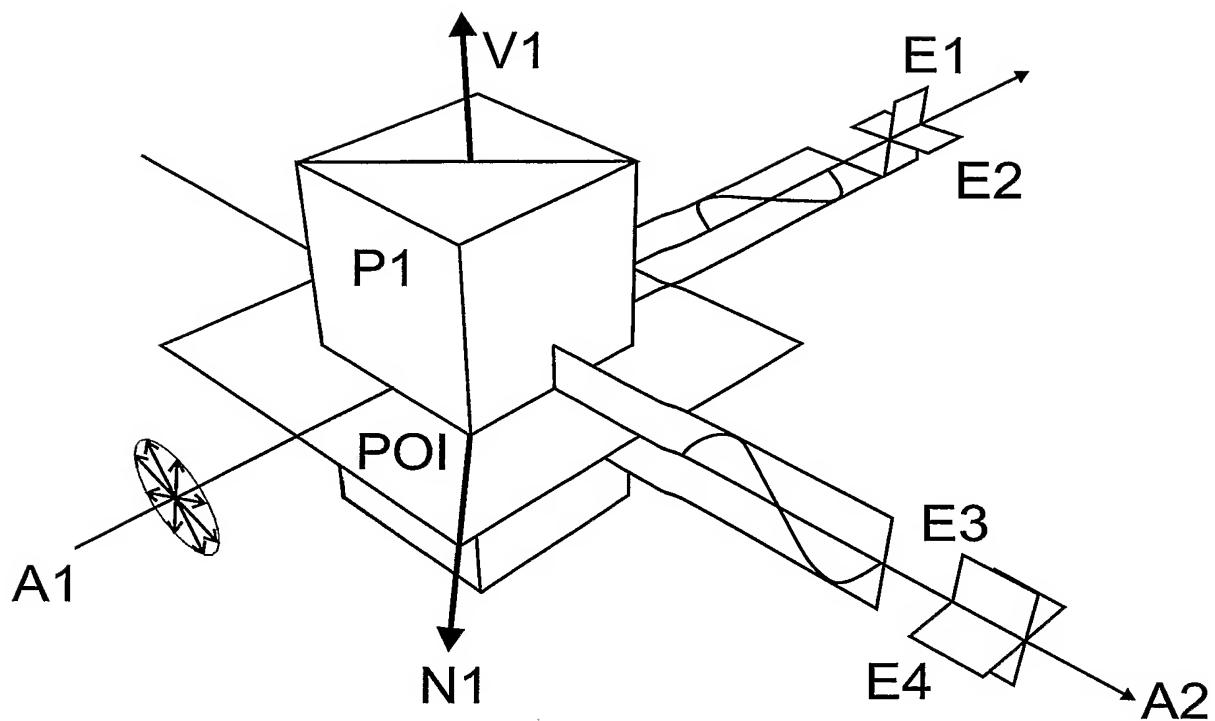


Fig. 1B

2/14



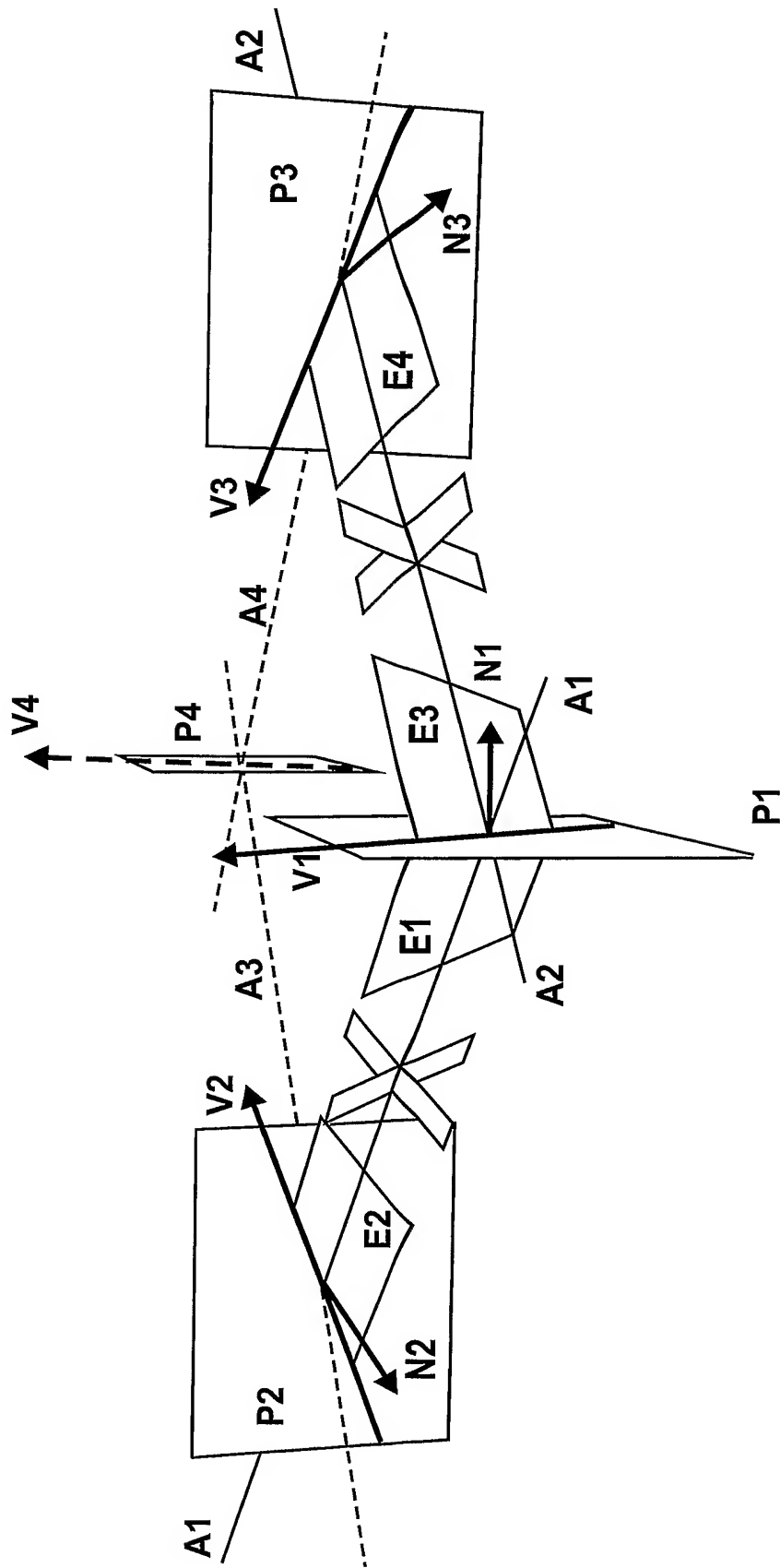


Fig.3

4/14

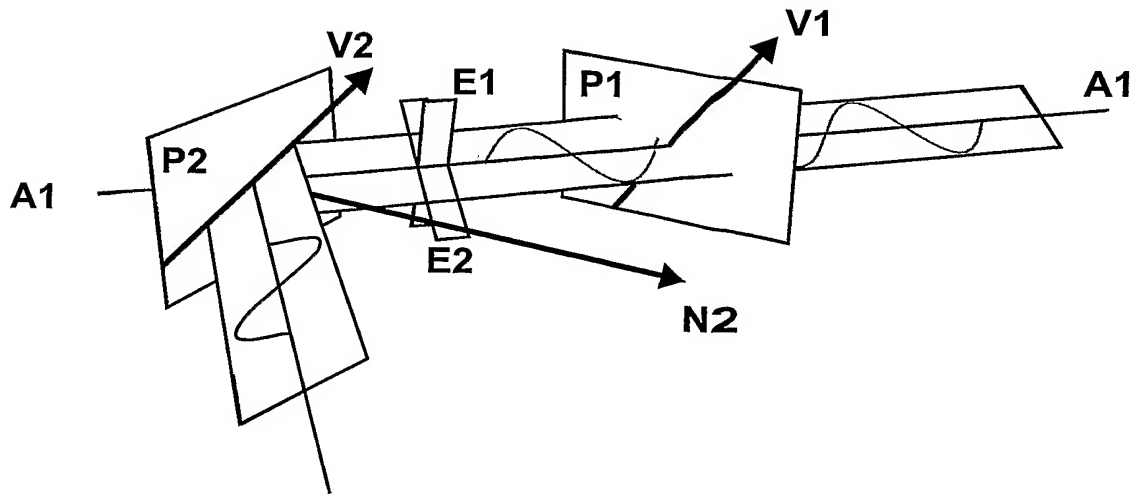


Fig.4A

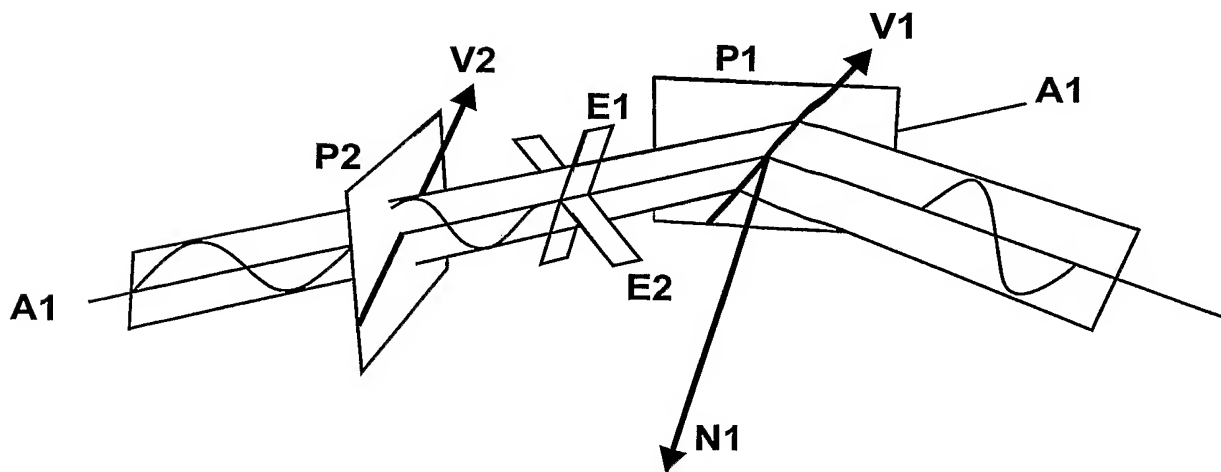
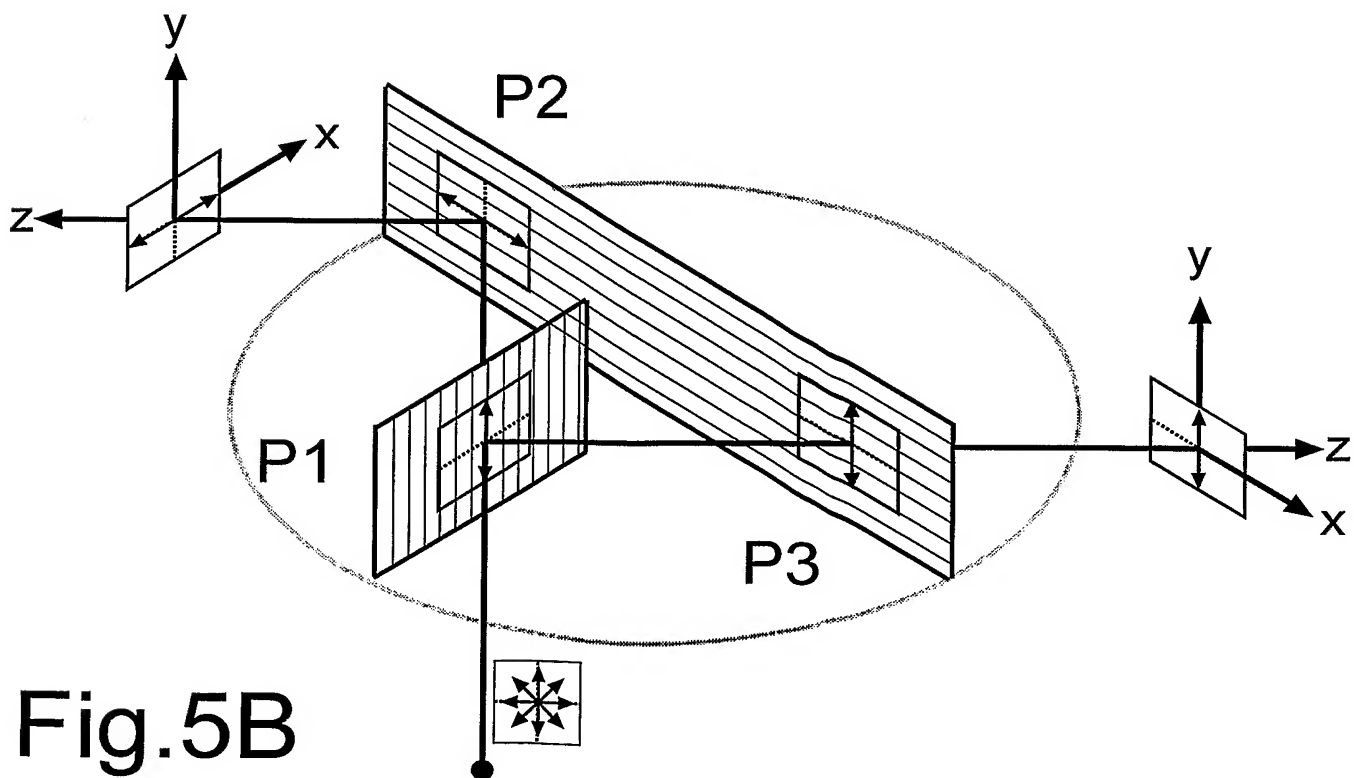
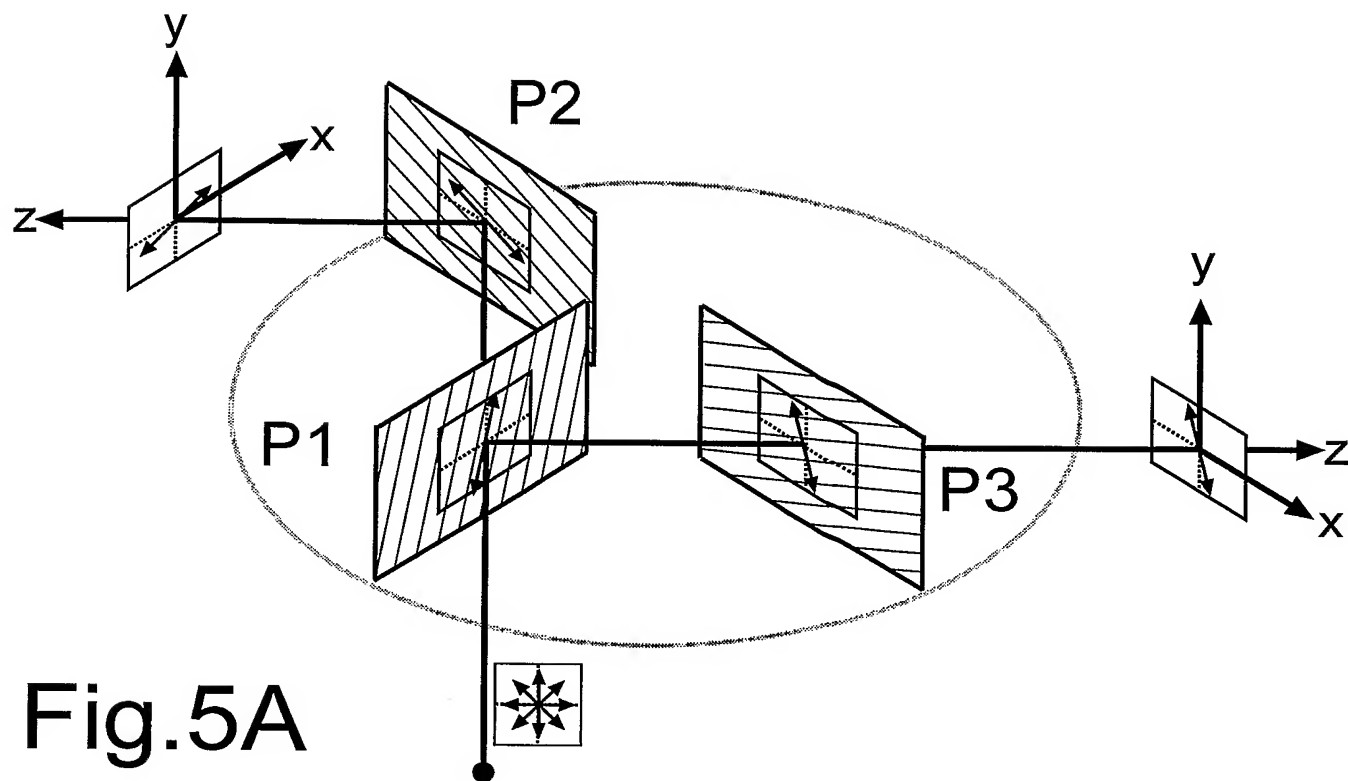


Fig.4B

5/14



6/14

Fig.6A

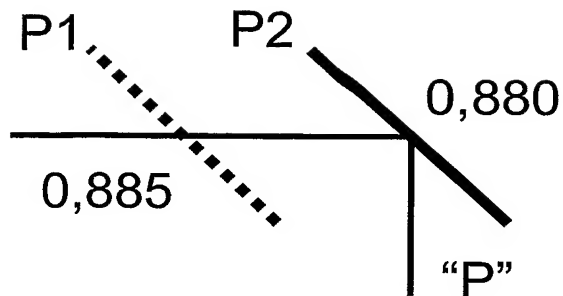


Fig.6B

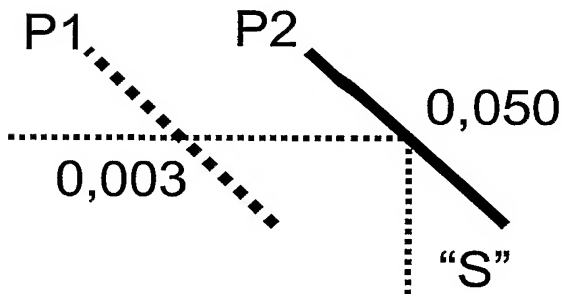


Fig.6C

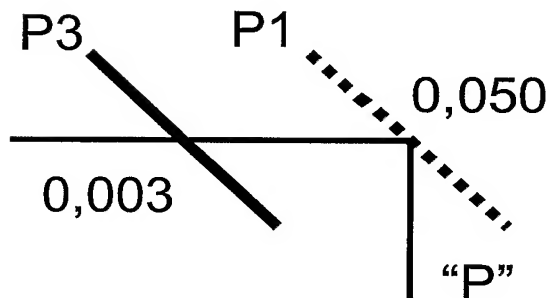


Fig.6D

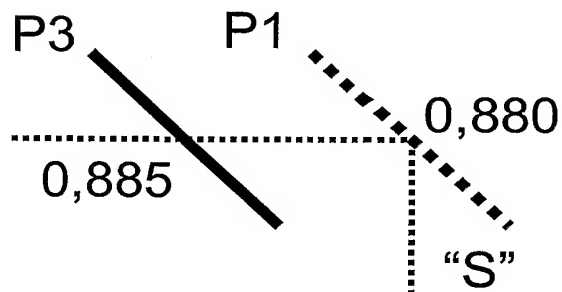
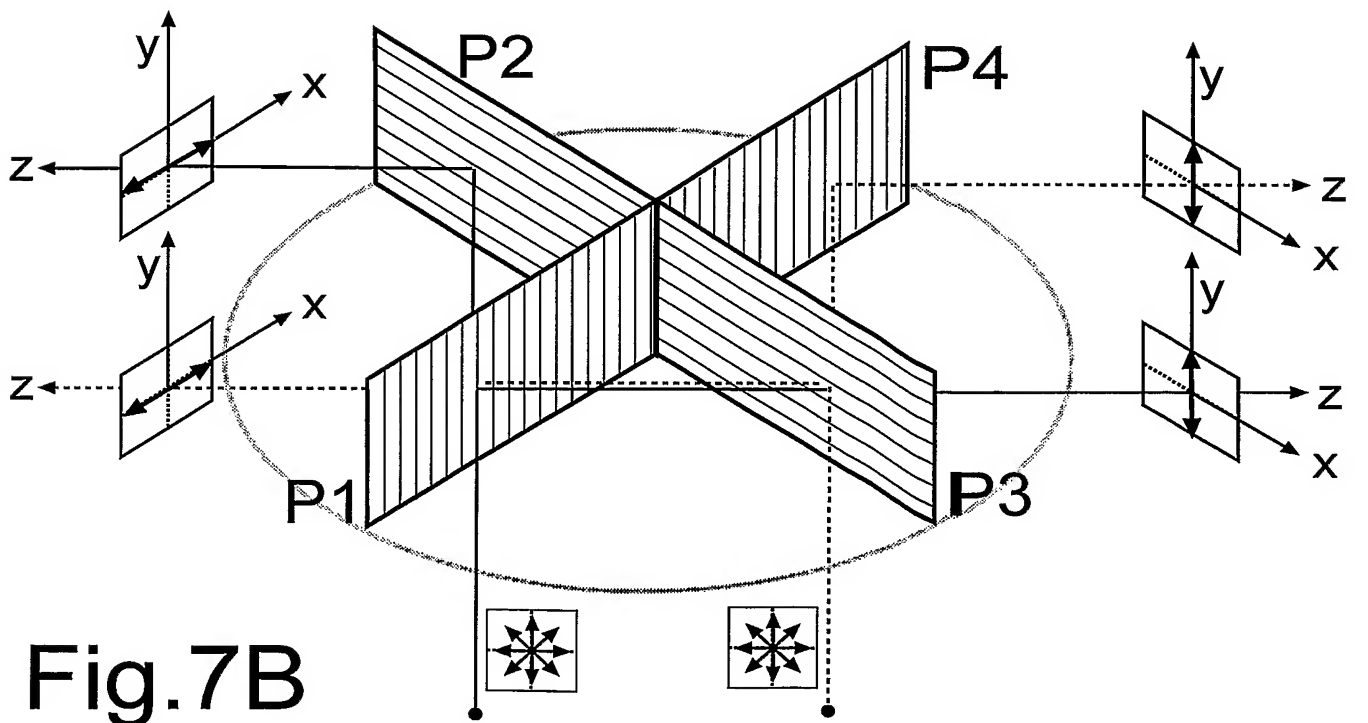
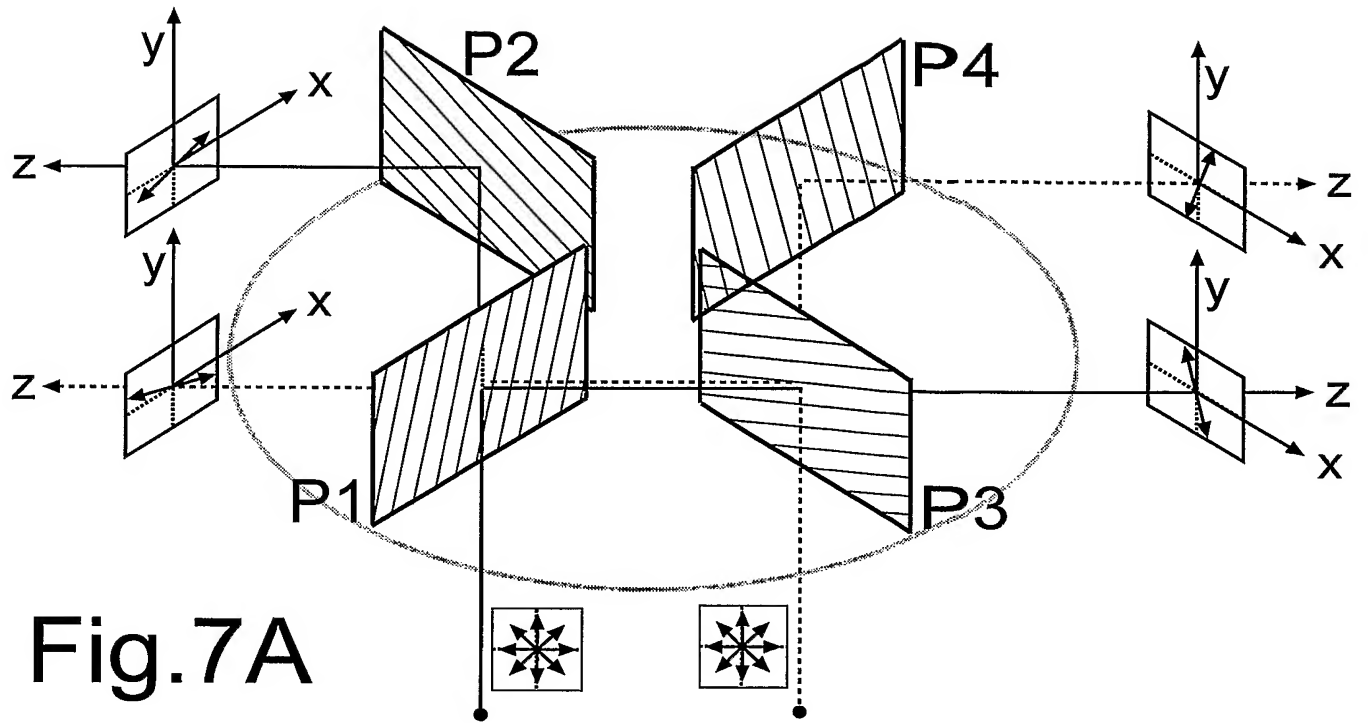


Fig.6E

$$\frac{0,885 \times 0,880}{0,003 \times 0,050} = 5000$$

7/14



8/14

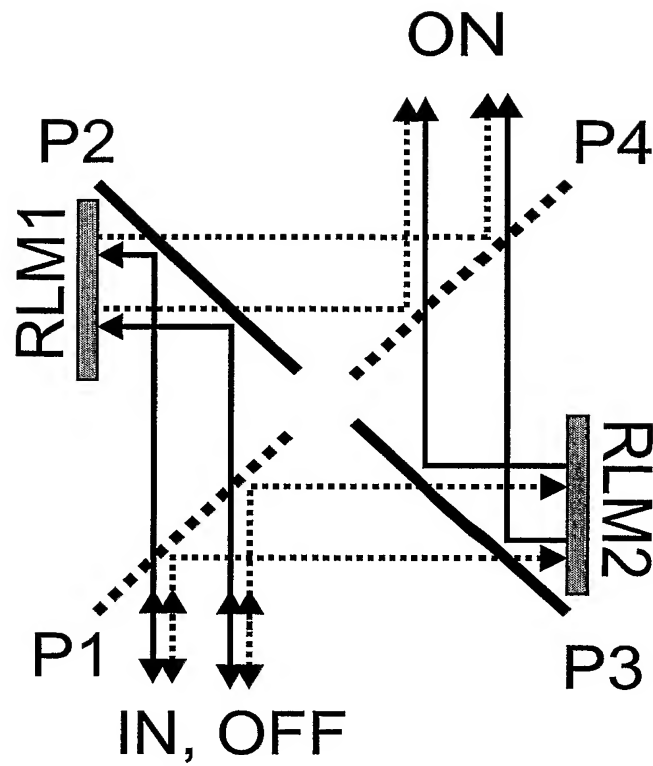


Fig.8A

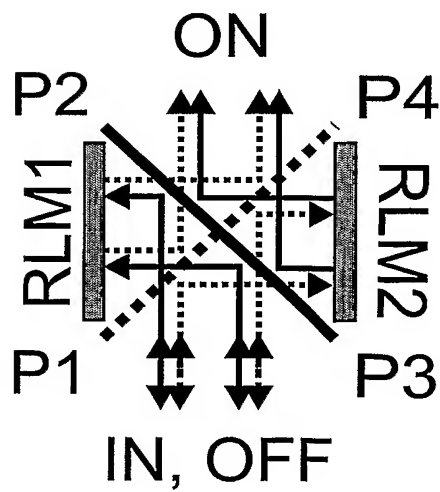


Fig.8B

9/14

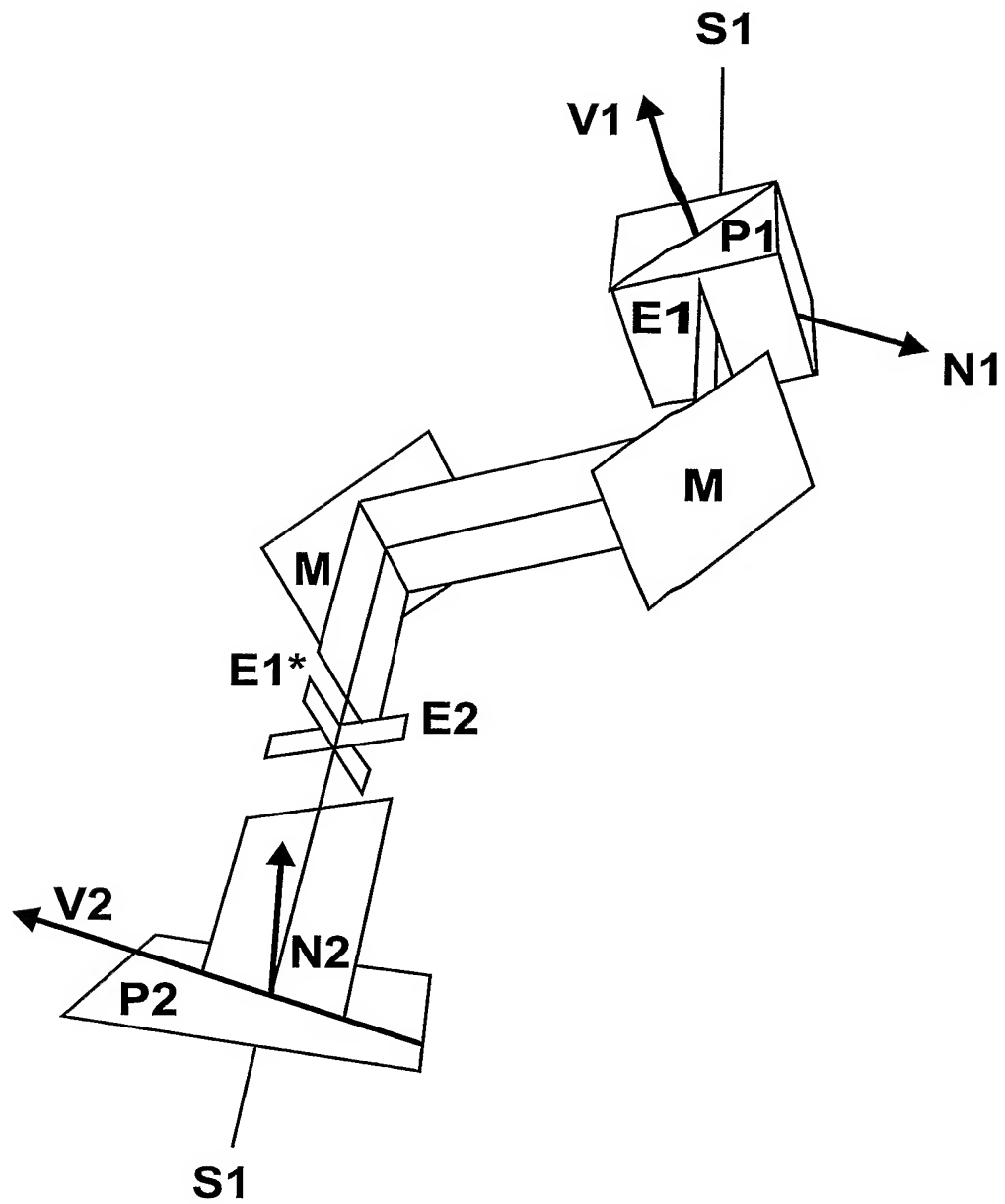


Fig.9

10/14

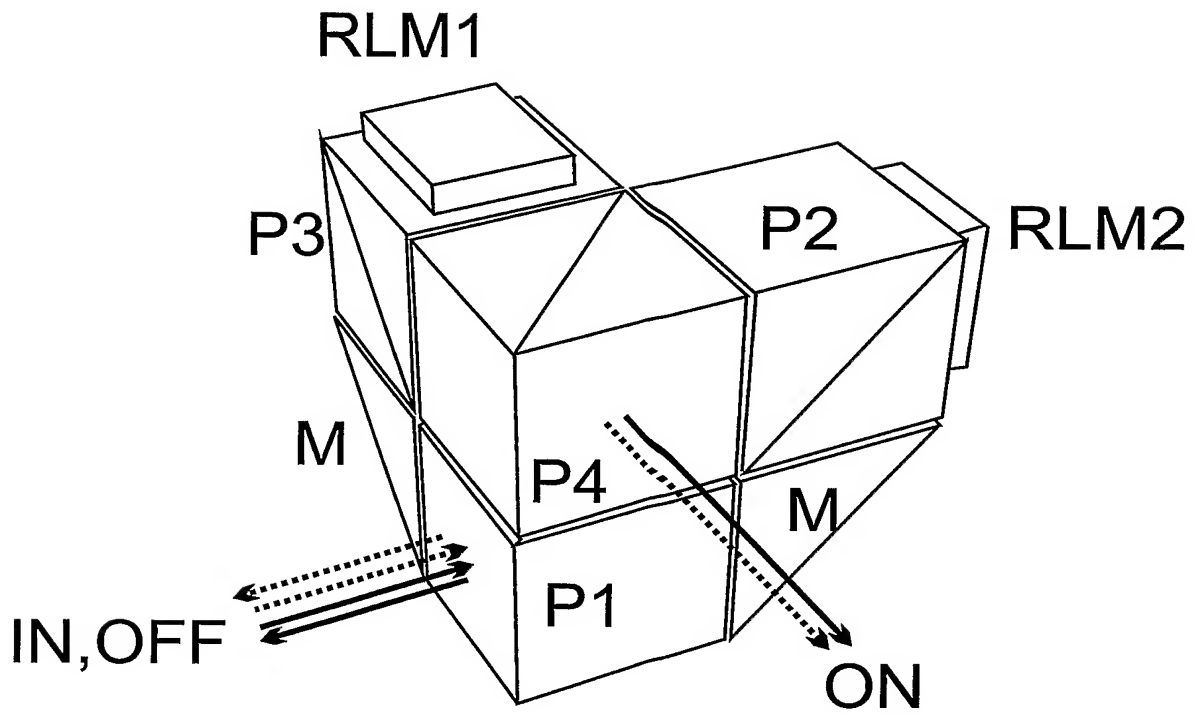


Fig.10

11/14

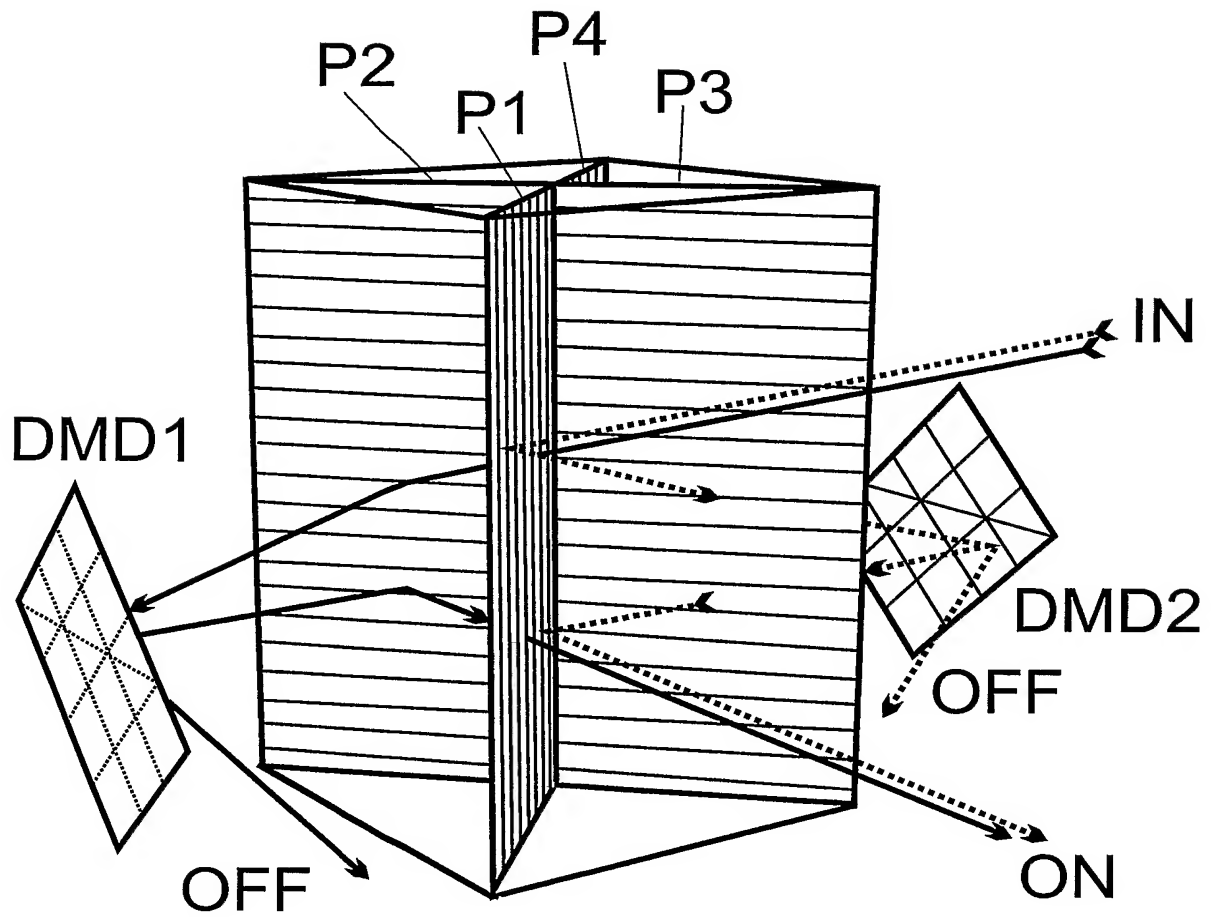
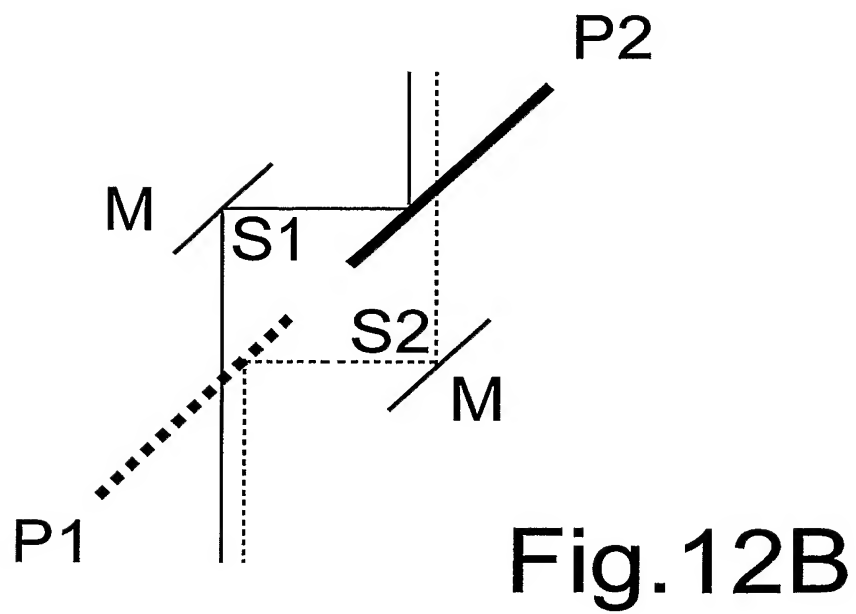
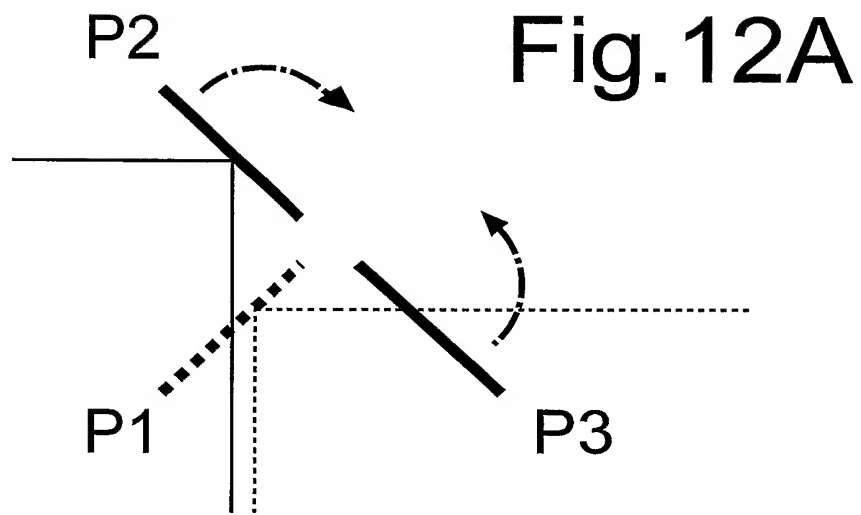


Fig.11

12/14



13/14

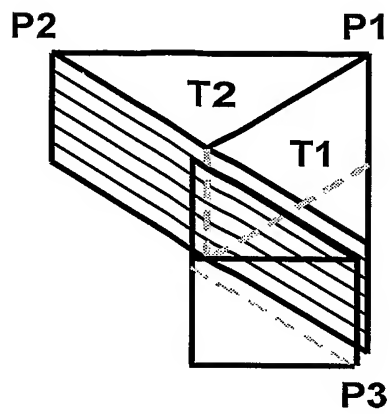


Fig. 13A

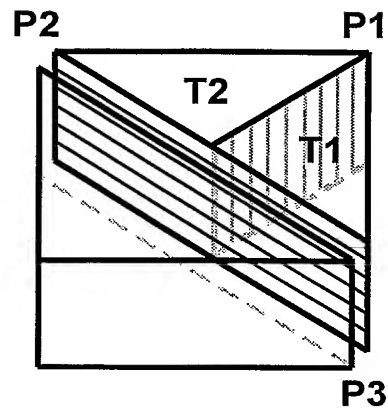


Fig. 13B

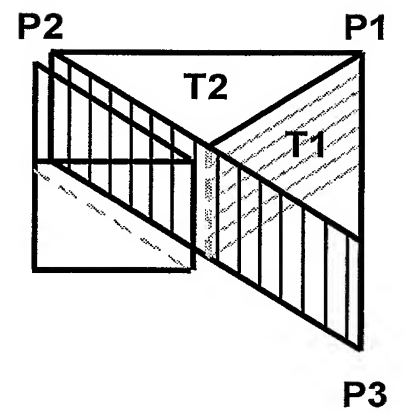


Fig. 13C

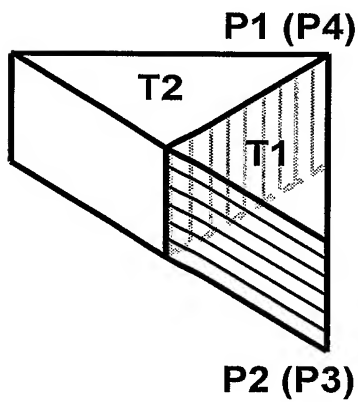


Fig. 13D

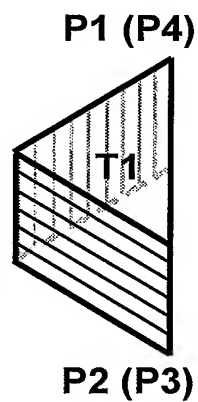


Fig. 13E

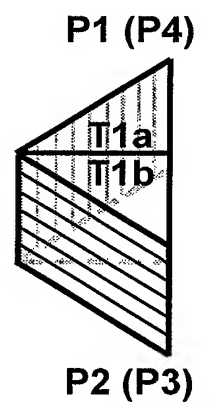


Fig. 13F

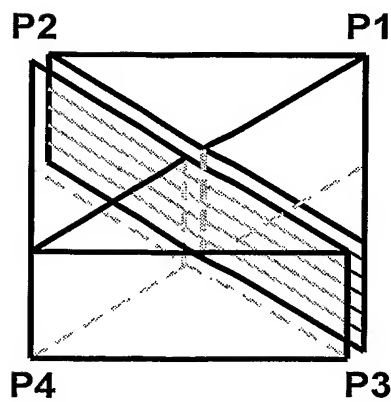


Fig. 13G

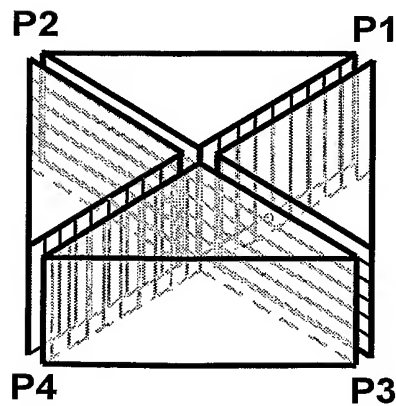


Fig. 13H

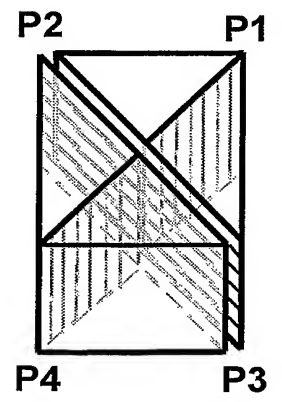


Fig. 13I

14/14

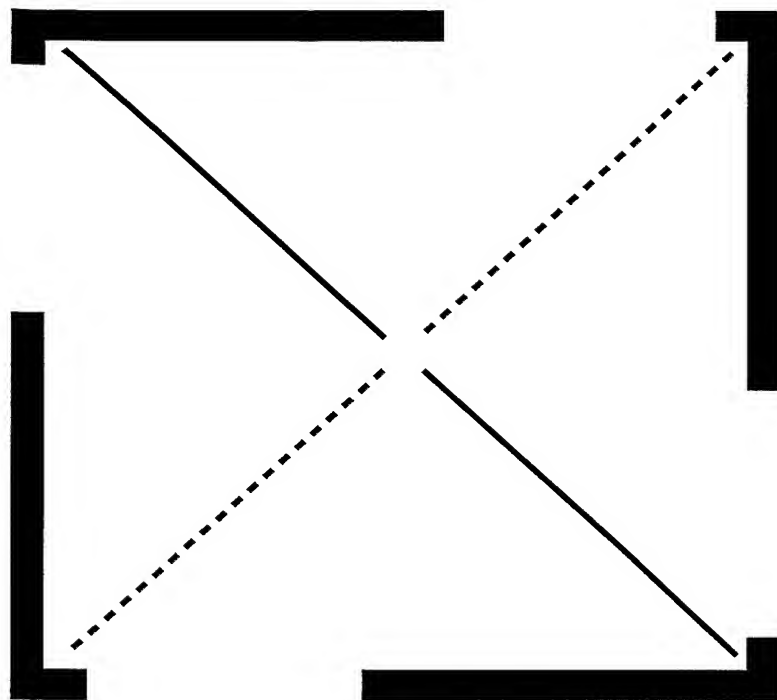


Fig.14A

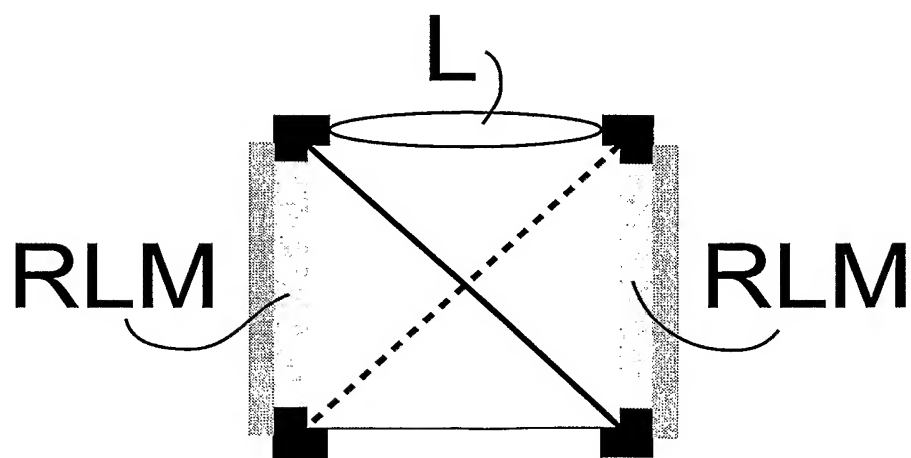


Fig.14B

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/DE2005/000194

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 H04N9/31 G02B27/28

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 7 H04N G02B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 6 490 087 B1 (FULKERSON E. GREGORY ET AL) 3 December 2002 (2002-12-03) figures 2,6; examples 1,3	1-25
A	WO 03/065735 A (THOMSON LICENSING S.A; O'DONNELL, EUGENE, MURPHY; DRAZIC, VALTER; HALL) 7 August 2003 (2003-08-07) page 5, line 19 - page 6, line 24; figure 2	1-25

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

9 June 2005

Date of mailing of the international search report

17/06/2005

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, T.x. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Rödig, C

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/DE2005/000194

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 6490087	B1	03-12-2002	CN 1349618 A ,C EP 1181616 A1 JP 2002542509 T TW 524993 B WO 0063738 A1	15-05-2002 27-02-2002 10-12-2002 21-03-2003 26-10-2000
WO 03065735	A	07-08-2003	EP 1331827 A1 BR 0307045 A WO 03065735 A1 US 2005046759 A1	30-07-2003 26-10-2004 07-08-2003 03-03-2005

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE2005/000194

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 H04N9/31 G02B27/28

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 H04N G02B

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EP0-Internal

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 6 490 087 B1 (FULKERSON E. GREGORY ET AL) 3. Dezember 2002 (2002-12-03) Abbildungen 2,6; Beispiele 1,3	1-25
A	WO 03/065735 A (THOMSON LICENSING S.A; O'DONNELL, EUGENE, MURPHY; DRAZIC, VALTER; HALL) 7. August 2003 (2003-08-07) Seite 5, Zeile 19 - Seite 6, Zeile 24; Abbildung 2	1-25

☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann nahelegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

9. Juni 2005

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

17/06/2005

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Rödig, C

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE2005/000194

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung	
US 6490087	B1	03-12-2002	CN 1349618 A ,C	15-05-2002
			EP 1181616 A1	27-02-2002
			JP 2002542509 T	10-12-2002
			TW 524993 B	21-03-2003
			WO 0063738 A1	26-10-2000
<hr/>				
WO 03065735	A	07-08-2003	EP 1331827 A1	30-07-2003
			BR 0307045 A	26-10-2004
			WO 03065735 A1	07-08-2003
			US 2005046759 A1	03-03-2005
<hr/>				